

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

USO DA PROTOTIPAGEM PARA GESTÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA  
CONSTRUÇÃO CIVIL

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para a obtenção do título de DOUTOR em Engenharia Civil.

FERNANDA ARANHA SAFFARO

Florianópolis  
2007

# **USO DA PROTOTIPAGEM PARA GESTÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**FERNANDA ARANHA SAFFARO**

Tese julgada adequada para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Dr Glicério Trichês - Coordenador do PPGEC

---

Prof. Luiz Fernando Mahlmann Heineck, PhD - Orientador

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Carlos Torres Formoso, PhD - Moderador - UFRGS

---

Aguinaldo dos Santos, PhD - UFPR

---

Dr José Antônio Valle Antunes Junior - UNISINOS

---

Dr Miguel Afonso Sellitto - UNISINOS

---

Cristine do Nascimento Mutti, PhD - UFSC

*A Deus, por estar comigo em todos  
os momentos da minha vida.  
Aos meus pais, Sérgio e Marília,  
e ao meu filho, Caio, pela dedicação  
e apoio incondicional.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao prof. Luiz Fernando Heineck, pela sua orientação, incentivo e paciência ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus irmãos, Guilherme e Martim e, em especial, à minha irmã Luciana e seus familiares: Rodrigo, Taty e Paula e à minha cunhada, Eliane, que torceram intensamente para que eu pudesse atingir meus objetivos.

Aos amigos e pesquisadores, Carlos Torres Formoso e Ercília Hitomi Hirota, que tiveram uma participação imensa ajudando-me, apoiando-me e incentivando em todos os momentos que precisei. Vocês foram pessoas fundamentais nesta minha jornada.

Aos funcionários e alunos do Norie, por me acolherem por um longo período deste trabalho. Agradeço de maneira especial aos amigos, Marcel, Fabrício, Alana e Fábio Schramm pelos momentos agradáveis que passamos juntos.

Às minhas primas Cecília Helena, Maria Christina e Solange pelas orações.

Aos amigos da UFSC, Débora, Lúcia, Maria de Fátima, Fernando e Ana, Cristina, Juliana, Marcelo e Margarete, Ricardo Rocha e Ana.

Aos meus amigos Luzia Favoreto, Érica, Luiz Miguel, José Gustavo, Vinicius, Maria Helena, Leila e Amauri pelo apoio mesmo de longe.

Aos meus amigos de Florianópolis, Ana Mello e seus familiares: Mário, Yuri e Lucas. Agradeço pela amizade e pela convivência maravilhosa aí nessa terra boa.

Às empresas de Porto Alegre que propiciaram a execução dos estudos, em especial, ao engenheiro Gustavo Navarro.

À Capes e à Universidade Estadual de Londrina que possibilitaram minha dedicação aos estudos. Ao prof. Gilson Morales pelo empenho para que eu tivesse a bolsa de estudo e aos professores que cobriram a minha ausência por um longo período.

Não poderia deixar de citar, mais uma vez, meus pais e meu filho. Meu pai, obrigada pelas discussões a respeito do trabalho e por sua serenidade nos momentos difíceis. Minha mãe, obrigada pelo teu apoio junto ao meu filho nos momentos da minha ausência e pelas tuas orações. Meu filho, obrigada pelo teu carinho, dedicação, orações e, acima de tudo, por você existir na minha vida.

SAFFARO, Fernanda Aranha. **Uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil**. 2007. 237 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

## RESUMO

A prototipagem é empregada ao longo das etapas de desenvolvimento do produto com o objetivo primordial de reduzir a incerteza associada ao produto e ao seu processo de produção. Quando o objetivo é estudar o processo, a etapa de produção pode constituir-se no objeto de aproximação empregado. A oportunidade de utilizar a etapa de produção para reduzir a incerteza associada ao processo tem especial importância para a construção civil na medida em que a natureza única de seu produto inviabiliza a pré-produção como objeto de aproximação. Nesta pesquisa é adotada a abordagem da prototipagem para explorar o emprego da etapa de execução da edificação para estudar o processo de produção na construção civil. O objetivo da pesquisa é apresentar as contribuições e requisitos para utilizar a prototipagem com o intuito de reduzir a incerteza no processo de produção. Considerando a possível contribuição da padronização para a redução da incerteza e a natureza do processo de definição de padrões, voltada a experimentar diferentes alternativas, é investigado mais intensamente o potencial da prototipagem para a definição do padrão. Foram realizados estudos em dois contextos diferentes em termos de grau de incerteza e desafios em relação às metas a serem cumpridas. Os resultados apontaram contribuições distintas para a redução da incerteza e para o processo de padronização nos dois contextos. No contexto de alta incerteza, a prototipagem contribuiu para a redução da variabilidade epistemológica e para adequar o padrão àquela situação vigente. No contexto de incerteza moderada, a prototipagem contribuiu para a redução da variabilidade randômica, uma vez que tinha como principal objetivo, propor soluções para cumprir um método padronizado existente. A disponibilidade de *inputs* para executar a tarefa, o controle de qualidade na execução, o emprego de protótipos focados, a utilização prévia de outros tipos de prototipagem e as relações de parceria mostraram-se importantes requisitos para a implementação da prototipagem.

**Palavras-chave:** Gestão da produção. Padronização. Prototipagem. Construção civil.

SAFFARO, Fernanda Aranha. **The use of prototyping for production management in construction.** 2007. 237 p. Thesis (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

## **ABSTRACT**

Prototyping is used along the product development process with the main objective of reducing uncertainty associated to the product and its production process. When the objective is to study the process, production stage can be the object of approximation. The opportunity to use the production phase for reducing uncertainties associated to process is specially important in the construction industry since its one-of-a-kind product hinders pre-production as the object of approximation. In this thesis, it is adopted a prototyping approach to explore the production phase as the object of approximation in order to study the production process in the construction context. The objective was to present the contributions and requirements for the use of prototyping for reducing uncertainties in the process. Considering the possible contribution of standardization for variability reduction and the nature of the standards definition process, focused in experimenting several alternatives, it is intensively investigated the prototyping potential for the definition of standards. Studies were developed in two different contexts, in terms of uncertainties. The results showed different contributions for reducing uncertainties and for standardization. In the context with high uncertainties, prototyping helped to reduce epistemological variability and matching the standard to attend the local constraints. In the context of moderate uncertainties, prototyping helped to reduce random variability, as its main objective was to recommend solutions for attending an existent standardized method. The available inputs, the quality control, the use of focused prototypes, the previous use of other types of prototyping, and partnership were important requirements for the implementation of prototyping.

**Key words:** Production management. Standardization. Prototyping. Construction.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Delineamento geral da pesquisa	23
Figura 2.1 – Representação do sistema de produção segundo o MFP	30
Figura 2.2 – <i>Inputs</i> do sistema de produção da construção	42
Figura 2.3 – Melhoria contínua – ciclo <i>SDCA</i> e ciclo <i>PDCA</i>	44
Figura 2.4 – Planilha de operação padrão	54
Figura 3.1 – Procedimentos para condução do <i>FRS</i> a partir do ciclo <i>PDCA</i>	82
Figura 4.1 – Delineamento da pesquisa	89
Figura 4.2 – Escada pré-moldada objeto do primeiro estudo	91
Figura 4.3 – Posição da escada em relação às edificações existentes	92
Figura 4.4 – Quarto do <i>FRS</i>	94
Figura 4.5 – Banheiro do <i>FRS</i>	94
Figura 4.6 – Tubulação atrás do leito	94
Figura 4.7 – Vista do apartamento do <i>FRS</i> (terceiro estudo)	96
Figura 4.8 – Ciclos de definição dos planos – ação – reflexão realizados (1º. Estudo)	99
Figura 4.9 – Atividades de preparação para execução do <i>FRS</i>	101
Figura 4.10 – Ciclos definição dos planos – ação – reflexão realizados (2º. Estudo)	103
Figura 4.11 – Variáveis e fontes de evidências empregadas nos três estudos	106
Figura 4.12 – Ferramenta para coleta da duração das operações para execução da tubulação elétrica do quarto (prototipagem na produção)	110
Figura 5.1 – Desenho em três dimensões do primeiro nível da escada	114
Figura 5.2 – Ciclo de três dias para montagem da escada segundo o entendimento da equipe	115
Figura 5.3 – Gráfico Balanceado de Recursos – método praticado para montagem de pilares do primeiro pavimento	117
Figura 5.4 – Proposta do encarregado para a operação de preparação dos pilares	119
Figura 5.5 – Readequação da viga VE8	122
Figura 5.6 – Seqüência de montagem das peças para um pavimento	123
Figura 5.7 – Proposta elaborada para tempo de ciclo de três dias para cada pavimento – 1º dia de montagem	124

Figura 5.8 – Proposta elaborada para tempo de ciclo de três dias para cada pavimento – 2º e 3º dia de montagem	126
Figura 5.9 – Conteúdo de trabalho executado em relação ao previsto (sexto dia)	127
Figura 5.10 – Ferragem de solda	128
Figura 5.11 – Ajuste no comprimento da ferragem	128
Figura 5.12 – Ajuste no espaçamento da ferragem	128
Figura 5.13 – Gráfico Balanceado de Recursos – método praticado para montagem das vigas do segundo pavimento	130
Figura 5.14 – Conteúdo de trabalho executado em relação ao previsto (sétimo dia)	131
Figura 5.15 – Seqüência de montagem das peças de um pavimento para o tempo de ciclo de dois dias	134
Figura 5.16 – Proposta elaborada para execução do terceiro pavimento - 1º dia do ciclo	137
Figura 5.17 – Proposta elaborada para execução do terceiro pavimento - 2º dia do ciclo	138
Figura 5.20 – Discussão no local acerca do posicionamento de tubulações no forro	152
Figura 5.21 – Plano inicial para execução dos dois apartamentos do <i>FRS</i>	154
Figura 5.22 – Tempo reservado para o <i>FRS</i> antes do início da produção	156
Figura 5.23 – Parede comum aos banheiros	157
Figura 5.24 – Condução da tubulação de AF e AQ pelo forro	157
Figura 5.25 – Desenhos do processo para embutir tubulações elétricas	158
Figura 5.26 – <i>Kit</i> montado	159
Figura 5.27 – Embutimento do <i>kit</i>	159
Figura 5.28 – Desenho do processo definido ao final do <i>FRS</i>	159
Figura 5.29 – Gabarito para marcação de caixas e quadros	160
Figura 5.30 – Registro da produção nos banheiros (instalações AF/AQ e esgoto – 5º pavimento)	164
Figura 5.31 – Registro da produção nos banheiros (instalações elétricas – 5º pavimento)	165
Figura 5.32 – Descida das tubulações elétricas e de gás	167
Figura 5.33 – Régua na cabeceira do leito do paciente	167
Figura 5.34 – Solução do <i>FRS</i> para as tubulações no teto (instalações elétricas)	169
Figura 5.35 – Solução para o pente de tubulações na cabeceira do leito do paciente	169



Figura 5.36 – Operações de instalações elétricas do quarto	170
Figura 5.37 – Sobreposição de tubulações	173
Figura 5.38 – Solução encontrada para evitar a curva	173
Figura 5.39 – Marcação na laje	174
Figura 5.40 – Diretrizes adotadas com base no <i>FRS</i> e nos dois primeiros quartos	174
Figura 5.41 – Diretriz adotada para redução do trabalho em progresso	175
Figura 5.43 – Tapete para marcação das passagens de tubulação na laje	198
Figura 5.44 – Projeto para locação das passagens de tubulação na laje	198
Figura 5.45 – Falha na locação da passagem de AF na laje	199
Figura 5.46 – Sobras de material elétrico	199
Figura 5.47 – Marcação das placas de gesso	199
Figura 5.48 – Espaço no <i>shaft</i>	200
Figura 5.49 – Flexibilidade na posição dos pontos de utilização	200
Figura 5.50 – Solução para <i>kit</i> de duas tomadas adjacentes	201
Figura 5.51 – Vista do <i>Pipe Shop</i>	201
Figura 5.52 – Solução inadequada de projeto para guias do gesso acartonado	202
Figura 5.53 – Reflexos da indisponibilidade dos <i>inputs</i> para a execução da tarefa	206

## LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Reuniões de reflexão realizadas no primeiro estudo	100
Quadro 4.2 – Reuniões formais realizadas no segundo estudo	104
Quadro 5.1 – Informações discutidas na prototipagem da produção interpretadas à luz dos componentes do padrão	143
Quadro 5.2 – Benefícios do <i>FRS</i> citados pelos encarregados	161
Quadro 5.3 – Síntese das discussões na reunião de encerramento do <i>FRS</i> do banheiro	162
Quadro 5.4 – Síntese do resultado das entrevistas – contribuições do <i>FRS</i>	176
Quadro 5.5 – Síntese do resultado das entrevistas – requisitos para implementar o <i>FRS</i>	177
Quadro 5.6 – Componentes do padrão presentes nas discussões do <i>FRS</i> dos banheiros	180
Quadro 5.7 – Componentes do padrão presentes nas discussões do <i>FRS</i> dos quartos (instalações elétricas)	182
Quadro 5.8 – Síntese do resultado das entrevistas (engenheiro coordenador da obra e proprietário da sub-empreiteira de instalações elétricas) – contribuições do <i>FRS</i>	194
Quadro 5.9 – Síntese do resultado das entrevistas (encarregados envolvidos no <i>FRS</i> ) – Contribuições do <i>FRS</i>	197
Quadro 5.10 – Síntese dos resultados dos três estudos	208

## LISTA DE SIGLAS

STP	Sistema Toyota de Produção
FRS	<i>First Run Study</i>
TFV	Transformação-Fluxo-Valor
MFP	Mecanismo da Função Produção
JIT	<i>Jist in time</i>
LEI	<i>Lean Enterprise Institute</i>
SDCA	<i>Standardize-Do-Check-Act</i>
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
CQZD	Controle de Qualidade Zero Defeitos
3D	Tridimensional
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
4D	Quatro Dimensões
PCP	Planejamento e Controle da Produção
RPE	Reunião Inicial para Preparação do Estudo
RPI	Reunião para Definição do Plano Inicial
R1	Primeira Reunião de Reflexão
R2	Segunda Reunião de Reflexão
R3	Terceira Reunião de Reflexão
R4	Quarta Reunião de Reflexão
RDR	Reunião para Apresentação e Discussão dos Resultados
NQA	Número de Quase Acidentes
Npnc	Número de procedimentos definidos no plano inicial de segurança não cumpridos
GBR	Gráfico Balanceado de Recursos
EPIs	Equipamentos de Proteção Individual
EM	Empresa Montadora
AF	Água Fria
AQ	Água Quente
ELE	Elétrica

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 CONTEXTO E PROBLEMA DE PESQUISA .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 QUESTÕES DE PESQUISA E DELINEAMENTO GERAL DA PESQUISA .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....</b>	<b>23</b>
<b>1.4 ESTRUTURA DA TESE .....</b>	<b>24</b>
 <b>2 GESTÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	 <b>25</b>
<b>2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 HISTÓRICO DA GESTÃO DA PRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1 Produção em Massa .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.2 Sistema Toyota de Produção .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3 FUNÇÃO PRODUÇÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1 Natureza da Função Produção .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.2 Princípios para a Gestão da Produção .....</b>	<b>32</b>
 <b>2.4 ALGUMAS PRÁTICAS IMPORTANTES DE GESTÃO DA PRODUÇÃO .....</b>	 <b>34</b>
<b>2.4.1 Balanceamento e Sincronização .....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.2 Utilização de <i>Buffers</i> .....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.3 Existência de Gargalos e Restrições .....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.4 Produção Puxada e Empurrada .....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.5 Redução do Tempo de <i>Set Up</i> .....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.6 Busca da Estabilidade Básica .....</b>	<b>38</b>
 <b>2.5 VARIABILIDADE E INCERTEZA .....</b>	 <b>39</b>
<b>2.5.1 Origens .....</b>	<b>39</b>
<b>2.5.2 Fontes de Incerteza na Construção Civil .....</b>	<b>40</b>
 <b>2.6 PADRONIZAÇÃO DO TRABALHO .....</b>	 <b>43</b>
<b>2.6.1 Padronização e a Melhoria Contínua .....</b>	<b>43</b>
<b>2.6.2 Etapas do Ciclo <i>PDCA</i> e Requisitos para Aplicação .....</b>	<b>45</b>
<b>2.6.3 Evolução das Abordagens de Padronização .....</b>	<b>49</b>
<b>2.6.4 Componentes do Padrão .....</b>	<b>52</b>
<b>2.6.5 Críticas ao Detalhamento do Método de Trabalho .....</b>	<b>57</b>
 <b>2.7 A PADRONIZAÇÃO E A FUNÇÃO GERENCIAMENTO .....</b>	 <b>61</b>
<b>2.7.1 A Função Gerenciamento .....</b>	<b>61</b>
<b>2.7.2 A Inserção da Padronização na Nova Abordagem da Função Gerenciamento .....</b>	<b>63</b>
<b>3 PROTOTIPAGEM .....</b>	<b>64</b>

<b>3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE DE PROTOTIPAGEM .....</b>	<b>64</b>
3.2.1 Definição de Prototipagem .....	64
3.2.2 Classificação dos Protótipos .....	65
3.2.3 Prototipagem no Processo de Desenvolvimento do Produto .....	66
3.2.4 Tecnologias para Aplicação da Prototipagem .....	69
3.2.5 Aplicação da Prototipagem na Etapa de Produção .....	71
<b>3.3 PROCEDIMENTOS E DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA PROTOTIPAGEM .....</b>	<b>74</b>
3.3.1 Estruturação para Implementação da Prototipagem .....	74
3.3.2 Diretrizes para a Implementação da Prototipagem .....	75
<b>3.4 PROTOTIPAGEM NO AMBIENTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	<b>78</b>
3.4.1 Produção Científica a Respeito de Prototipagem na Construção Civil ..	78
3.4.2 <i>First Run Study (FRS)</i> .....	79
3.4.2.1 Caracterização da atividade .....	79
3.4.2.2 Seleção de tarefas para aplicação do <i>FRS</i> .....	80
3.4.2.3 Antecedência do <i>FRS</i> em relação ao início da tarefa .....	81
3.4.2.4 Procedimentos para aplicação do <i>FRS</i> .....	82
3.4.2.5 Comparação do <i>FRS</i> às variações de prototipagem do processo de produção empregadas na manufatura .....	83
<b>3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>85</b>
<b>4 MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>86</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	86
4.2 OPORTUNIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DO PRIMEIRO ESTUDO .....	86
4.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	88
4.4 ESTRATÉGIA DA PESQUISA .....	90
<b>4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS EMPÍRICOS .....</b>	<b>91</b>
4.5.1 Primeiro Estudo .....	91
4.5.2 Segundo Estudo .....	93
4.5.3 Terceiro Estudo .....	95
<b>4.6 PROCESSO DA PESQUISA .....</b>	<b>97</b>
4.6.1 Ciclos de Aprendizagem no Primeiro e Segundo Estudos .....	97
4.6.2 Primeiro Estudo .....	98
4.6.3 Segundo estudo .....	101
4.6.4 Terceiro Estudo .....	105
<b>4.7 COLETA DE DADOS .....</b>	<b>105</b>
4.7.1 Descrição Geral dos Dados Coletados nos Três Estudos .....	105

<b>4.7.2 Primeiro Estudo</b> .....	<b>107</b>
4.7.2.1 Dados Coletados .....	107
4.7.2.2 Fontes de Evidência .....	107
4.7.2.2.1 <i>Observação Direta</i> .....	107
4.7.2.2.2 <i>Observação Participante</i> .....	108
<b>4.7.3 Segundo Estudo</b> .....	<b>109</b>
4.7.3.1 Dados Coletados .....	109
4.7.3.2 Fontes de Evidência .....	109
4.7.3.2.1 <i>Observação Direta</i> .....	109
4.7.3.2.2 <i>Observação Participante</i> .....	110
4.7.3.2.3 <i>Entrevista</i> .....	110
<b>4.7.4 Terceiro Estudo</b> .....	<b>111</b>
4.7.4.1 Dados Coletados .....	111
4.7.4.2 Fontes de Evidência .....	111
4.7.4.2.1 <i>Entrevista</i> .....	111
4.7.4.2.2 <i>Observação Direta</i> .....	112
 <b>5 ESTUDOS DE CASO</b> .....	 <b>113</b>
<b>5.1 PRIMEIRO ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>113</b>
<b>5.1.1 Considerações Iniciais</b> .....	<b>113</b>
<b>5.1.2 Ciclo de Evolução do Entendimento do Processo de Montagem da Escada</b> .....	<b>113</b>
5.1.2.1 Definição de um plano inicial para montagem da escada .....	113
5.1.2.2 Aplicação do plano inicial – ação nos pilares do primeiro nível .....	115
5.1.2.3 Discussão acerca do primeiro dia - Reunião R1 .....	118
5.1.2.4 Aplicação do plano inicial – ação nas vigas do primeiro nível .....	119
5.1.2.5 Discussão acerca do primeiro pavimento e definição do novo plano – Reunião R2 .....	122
5.1.2.6 Aplicação do plano no segundo pavimento .....	127
5.1.2.7 Reflexão acerca do primeiro dia do segundo pavimento – Reunião R3 .....	128
5.1.2.8 Continuação da aplicação do plano no segundo pavimento .....	129
5.1.2.9 Discussão acerca do segundo pavimento e definição do novo plano - Reunião R4 .....	132
5.1.2.10 Aplicação do plano no terceiro pavimento .....	139
5.1.2.11 Reunião de apresentação dos resultados para a empresa A .....	139
<b>5.1.3 Consolidação dos Resultados</b> .....	<b>141</b>
5.1.3.1 Informações do processo de produção discutidas na prototipagem na produção .....	141
5.1.3.2 Contribuições da prototipagem na produção .....	144
5.1.3.3 Dificuldades para implementar a prototipagem na produção .....	147
<b>5.1.4 Considerações Finais</b> .....	<b>150</b>
 <b>5.2 SEGUNDO ESTUDO DE CASO</b> .....	 <b>151</b>
<b>5.2.1 Considerações Iniciais</b> .....	<b>151</b>
<b>5.2.2 Atividades de preparação para execução do FRS</b> .....	<b>152</b>
<b>5.2.3 Ciclos de Aprendizagem da Equipe</b> .....	<b>153</b>

5.2.3.1 Definição de um plano inicial para execução do <i>FRS</i> .....	153
5.2.3.2 Execução do <i>FRS</i> do banheiro .....	156
5.2.3.3 Reunião de encerramento do <i>FRS</i> – Reflexão .....	160
5.2.3.4 Produção dos banheiros .....	163
5.2.3.5 Execução do <i>FRS</i> do quarto .....	166
5.2.3.6 Produção dos quartos (ação) .....	171
<b>5.2.4 Entrevistas</b> .....	176
<b>5.2.5 Consolidação dos Resultados</b> .....	179
5.2.5.1 Contribuições do <i>FRS</i> .....	179
5.2.5.1.1 <i>Para o projeto</i> .....	179
5.2.5.1.2 <i>Para os componentes do padrão</i> .....	179
5.2.5.1.3 <i>Para a definição limites de tolerâncias dimensionais</i> .....	183
5.2.5.1.4 <i>Para quantificação de recursos</i> .....	184
5.2.5.1.5 <i>Para promover a aprendizagem em parceira</i> .....	184
5.2.5.2 Papel da prototipagem no detalhamento do método de trabalho padronizado .....	184
5.2.5.3 Requisitos para implementar a prototipagem de forma a atingir a padronização .....	186
<b>5.2.6 Considerações Finais</b> .....	189
<b>5.3 TERCEIRO ESTUDO DE CASO</b> .....	190
<b>5.3.1 Considerações Iniciais</b> .....	190
<b>5.3.2 Descrição geral dos serviços envolvidos no <i>FRS</i></b> .....	190
<b>5.3.3 Resultados</b> .....	191
5.3.3.1 Entrevistas .....	191
5.3.3.2 Observações em campo .....	198
<b>5.3.4 Consolidação dos Resultados</b> .....	202
5.3.4.1 Contribuições do <i>FRS</i> .....	202
5.3.4.1.1 <i>Para a aprovação do produto construído em relação ao projeto</i> .....	202
5.3.4.1.2 <i>Para os componentes do padrão</i> .....	202
5.3.4.1.3 <i>Para quantificação precisa de materiais</i> .....	203
5.3.4.1.4 <i>Para o fortalecimento relações de parcerias</i> .....	203
5.3.4.2 Requisitos para implementar a prototipagem de forma a atingir a padronização .....	204
<b>5.3.5 Considerações Finais</b> .....	206
<b>5.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS ESTUDOS</b> .....	207
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	209
<b>6.1 ADAPTAÇÃO DOS RESULTADOS AOS CONCEITOS E PRÁTICAS DA PROTOTIPAGEM</b> .....	209
<b>6.2 CONTRIBUIÇÃO DA PROTOTIPAGEM PARA A GESTÃO DA PRODUÇÃO</b> .....	210
<b>6.3 REQUISITOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA PROTOTIPAGEM DE FORMA A ATINGIR A PADRONIZAÇÃO</b> .....	212

<b>6.4 CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA DA PESQUISA .....</b>	<b>213</b>
<b>6.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>214</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>216</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>Anexo A .....</b>	<b>230</b>
<b>Anexo B .....</b>	<b>232</b>
<b>Anexo C .....</b>	<b>234</b>
<b>Anexo D .....</b>	<b>236</b>



# 1 INTRODUÇÃO

---

## 1.1 CONTEXTO E PROBLEMA DE PESQUISA

Uma análise da evolução histórica das práticas de gestão indica a existência de, ao menos, dois paradigmas de gestão da produção. Entre eles destacam-se o paradigma da produção em massa e o paradigma adotado pela *Toyota Motors Corporation Ltd*, conhecido como Sistema Toyota de Produção (STP), também referenciado como *World Class Manufacturing*, Nova Filosofia de Produção ou, ainda, *Lean Production* (KOSKELA, 2000).

A principal diferença entre os dois paradigmas é que se reflete nas práticas de gestão está na concepção do sistema de produção. Segundo Antunes Junior (1998) e Koskela (2000), no paradigma da produção em massa, o sistema de produção é concebido como um conjunto de operações, sendo o processo, uma unidade maior resultante da soma das operações. A partir desta concepção, Taylor e Gilbreth, dois importantes estudiosos do paradigma da produção em massa, se dedicaram ao estudo sistemático das operações, entendendo que melhorias nestas conduziam a um melhor desempenho do processo como um todo. No paradigma do STP, o sistema de produção é entendido como uma rede de processos e operações, indicando que um processo não resulta da soma das operações e, portanto, melhorias nestas últimas podem não acarretar em melhor desempenho do todo (ANTUNES JUNIOR, 1998; KOSKELA, 2000).

Uma importante contribuição conceitual do paradigma do STP refere-se à explicação de Shingo (1996a, 1996b) de que o processo corresponde a um fluxo de materiais no tempo e no espaço e a operação consiste em uma atuação da mão de obra ou de equipamentos, cujo objetivo é promover uma mudança de estado no material até que este se transforme em produto final. Koskela e Kagioglou (2005) destacam que o entendimento desta afirmação de Shingo permite explicar que processo e operação são de natureza diferente e que o processo permite uma análise fiel do desenvolvimento do produto porque contempla as interrupções na produção, embora estas não levem à mudança de estado na matéria. Portanto, a explicação de Shingo (1996a, 1996b) destaca o tempo como fundamental dimensão de análise do desenvolvimento do produto.

As interrupções no fluxo de produção, que sob o ponto de vista temporal indicam um estado de espera, são objeto de investigações porque, conforme mencionam Hopp e Spearman

(1996), consomem grande parte do tempo de atravessamento<sup>1</sup> embora não levem a uma mudança de estado no produto. Os referidos autores identificam como principais causas da espera, a produção em grandes lotes e a interdependência entre estações de trabalho com diferentes capacidades de produção e não sincronizadas.

No entanto, Hopp e Spearman (1996) utilizam a teoria das filas para demonstrar que, ainda que haja sincronia entre as estações de trabalho e que suas capacidades de produção sejam potencialmente iguais, a presença da variabilidade acarreta o aparecimento da espera.

Hopp e Spearman (1996) também demonstram que a presença da variabilidade ocasiona longos tempos de atravessamento, altos níveis de trabalho em progresso, desperdício da capacidade de produção e baixo volume de produção. Estas penalidades limitam a capacidade dos sistemas de produção em termos de flexibilidade e rapidez no atendimento da demanda e de combate ao desperdício, justificando a redução da variabilidade como um dos mais importantes princípios de gestão da produção no STP.

A padronização é destacada por diversos autores, entre eles, Treville e Antonakis (2005), Liker (2004), Santos, Formoso e Tookey (2002), Spear e Bowen (1999), Monden (1998), Antunes Junior (1998), Imai (1997) e Ghinato (1996) como um importante meio para a redução da variabilidade. Imai (1997) justifica que a padronização contribui para a redução da variabilidade porque estabelece uma meta a ser atingida e institui um método a ser seguido por todos para cumpri-la.

Segundo Williams (2002), a existência da variabilidade está associada não somente a fatores randômicos, mas também a fatores epistemológicos relacionados ao desconhecimento de objetivos e do método para alcançá-los. O padrão pode contribuir para a redução da variabilidade de caráter randômico, uma vez que institui um método único a ser seguido por todos. Também pode contribuir para reduzir a variabilidade epistemológica na medida em que, para a sua definição, há a necessidade de que ocorra uma evolução no conhecimento do método e do objetivo a ser atingido.

---

<sup>1</sup> Na verdade, Hopp e Spearman (1996) utilizam o termo tempo de ciclo (*cycle time*). Porém, nesta tese, emprega-se o conceito de Alvarez e Antunes Junior (2001) para o termo tempo de ciclo. Estes autores entendem que tempo de ciclo corresponde ao período transcorrido entre a repetição de um mesmo evento, isto é, entre o início ou término da produção de duas peças sucessivas de um mesmo modelo em condições de abastecimento constante. O termo tempo de atravessamento, segundo Alvarez e Antunes Junior (2001) e Koskela (2000), corresponde ao tempo requerido para que o material atravessasse toda a linha. Koskela (2000) acrescenta: Tempo de atravessamento = tempo de processamento + tempo de inspeção + tempo de transporte + tempo de espera.

Para a definição do padrão, Imai (1997) e Campos (1992) sugerem o emprego de métodos estruturados para resolução de problemas, incluindo os seguintes passos: (a) definir um plano, envolvendo uma meta e um método para atingi-la; (b) executar este plano; (c) verificar os resultados do plano executado; e (d) corrigir os desvios para cumprir o padrão ou definir um novo plano. Assim, o padrão é estabelecido mediante um processo de experimentação<sup>2</sup>, uma vez que os passos para sua definição se desenvolvem a partir de uma busca consciente e evolutiva voltada ao entendimento do fenômeno investigado, no caso o processo de produção, sendo este entendimento propiciado pela execução e observação deste fenômeno.

Clark, Chew e Fujimoto (1992) sugerem a aplicação de métodos estruturados com intuito de experimentar e testar diferentes alternativas de produto e do processo de produção ao longo das etapas de desenvolvimento do produto. Segundo os referidos autores, estas atividades de experimentação têm como objetivo, definir especificações do produto e do processo a serem cumpridas na etapa de produção, reforçando a contribuição das mesmas para propor padrões.

É importante esclarecer que na presente pesquisa, estas atividades de experimentação, sejam elas empregadas na etapa de concepção do produto ou da produção, são referenciadas, genericamente, como prototipagem, com base nas seguintes citações da literatura:

- Ulrich e Eppinger (2000) definem prototipagem como um processo de experimentação que faz uso de uma aproximação do produto ou de parte deste para investigar um determinado fenômeno;
- Clark, Chew e Fujimoto (1992) entendem que, quando o fenômeno investigado é o processo de produção, a própria produção do produto pode ser empregada como meio para a aproximação do produto. Ao descrever o processo de desenvolvimento do produto na indústria automobilística, Clark, Chew e Fujimoto (1992) mencionam que, mesmo após a pré-produção de um produto novo, normalmente ocorrem experimentações na etapa de produção em duas oportunidades: (a) no período que antecede a produção comercial. Este tipo de experimentação é denominado pelos autores de produção-piloto; e (b) no início da produção comercial, denominada pelos autores de *ramp up*, quando detalhes do processo de produção não investigados na

---

<sup>2</sup> Neste trabalho, o termo experimentação e seus derivados são utilizados para expressar uma atividade intrinsecamente voltada a experimentar, ou seja, praticar alternativas diferentes, não tendo a mesma conotação dos experimentos científicos que pressupõe o controle dos fatores externos que repercutem nos resultados.

produção-piloto são analisados e há um aumento no ritmo de produção até que toda a capacidade seja atingida.

Além do potencial da prototipagem para estabelecer padrões relacionados ao produto e ao método de produção, existem, ainda, benefícios associados à capacidade técnica e organizacional que repercutem em menores prazos e custos nos processos de lançamento de novos produtos. Estes benefícios são:

1. Agilidade na aprendizagem e na resolução de problemas imprevistos (CHEW; LEONARD-BARTON; BOHN, 1991; GUTIERREZ, 1993, DE MEYER; LOCH; PICH, 2005);
2. Oportunidade para o fortalecimento das relações de parcerias entre as organizações envolvidas, mediante melhoria na comunicação e maior integração de seus objetivos (ULRICH; EPPINGER, 2000);
3. Melhor conhecimento a respeito dos recursos necessários para a execução da tarefa, resultando em menores chances de indisponibilidade dos mesmos ao longo da produção (GUTIERREZ, 1993);
4. Oportunidade de treinamento da equipe para executar tarefas novas (TURNER, 2005).

Koskela e Howell (2002) mencionam que a comunicação e a cooperação, a organização<sup>3</sup> e a aprendizagem são aspectos valorizados para apoiar o planejamento no STP, garantindo maior aderência aos planos elaborados e melhorias constantes destes ao longo dos ciclos de execução. Os mesmos autores destacam a necessidade de analisar estes outros aspectos da função gerenciamento, além do planejamento, especialmente em ambientes de alta incerteza em que o produto é único e a produção assume um caráter experimental, de constante depuração de erros ao longo dos ciclos de produção. Portanto, a prototipagem apresenta-se como recurso adequado para apoiar esta nova abordagem da função gerenciamento no ambiente da construção civil. Neste caso, a definição do padrão mediante à prototipagem estendida à etapa de produção deve ocorrer em um ambiente de comunicação, cooperação e aprendizagem intensa.

---

<sup>3</sup> Inclui condições físicas, políticas e culturais para execução de uma ação.

Da mesma forma que Clark, Chew e Fujimoto (1992), os autores Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) defendem o emprego intensivo da prototipagem ao longo das etapas de desenvolvimento do produto, dando ênfase à experimentação realizada na etapa de produção.

A possibilidade de empregar a própria produção como objeto de experimentação para a gestão do processo de produção da construção civil, justifica-se pelos seguintes aspectos:

- Na construção civil, nem sempre há repetitividade do produto, inviabilizando a sua pré-produção com o objetivo de estudar tanto o produto quanto o seu processo de produção;
- Nas situações em que há repetitividade do produto, viabilizando a sua pré-produção, é possível que determinados detalhes do processo não sejam devidamente investigados em virtude da produção ocorrer sob condições relativamente controladas, já que o produto resultante da pré-produção está protegido das pressões de prazo e qualidade.

Até onde foi possível constatar na revisão à literatura, na construção civil, a primeira citação de utilização da experimentação na etapa de produção ocorreu em 1997 pelos autores Herman Glenn Ballard e Gregory Howell através do *First Run Study*. Ballard e Howell (1997a) denominaram *First Run Study (FRS)* ao procedimento de elaborar um plano detalhado para executar uma determinada tarefa e de colocá-lo em prática no primeiro ciclo de repetição (*first run*), com uma antecedência de 3 a 6 semanas em relação ao início da produção propriamente dita. O *FRS* assemelha-se ao que Clark, Chew e Fujimoto (1992) referenciam produção-piloto, uma vez que em ambas as situações, a produção é experimentada em um período que antecede o seu início.

Ballard e Howell (1997a) acrescentam que, dentro do primeiro ciclo de repetição, são conduzidos estudos de tal forma que, diferentes desenhos do processo sejam propostos e testados até que um padrão seja definido. Portanto, os referidos autores confirmam o potencial do *FRS* para a redução da incerteza por intermédio da definição de um padrão para o processo de produção.

Posteriormente à publicação de Ballard e Howell (1997a), o *FRS* foi citado nos seguintes trabalhos: Howell e Ballard (1999), Ballard (1999, 2000), Alves (2000), Bernardes (2001), Ballard, Harper e Zabelle (2002), Saurin (2002), Howell et.al. (2002), Tsao e Tommelein (2002), Ballard e Howell (2003a), Machado (2003) e Ballard e Matthews (2004).

Nos trabalhos relacionados, o *FRS* é apenas citado como um meio para reduzir o risco e a incerteza, porém, não são apresentados resultados de estudos empíricos descrevendo o seu emprego para este fim.

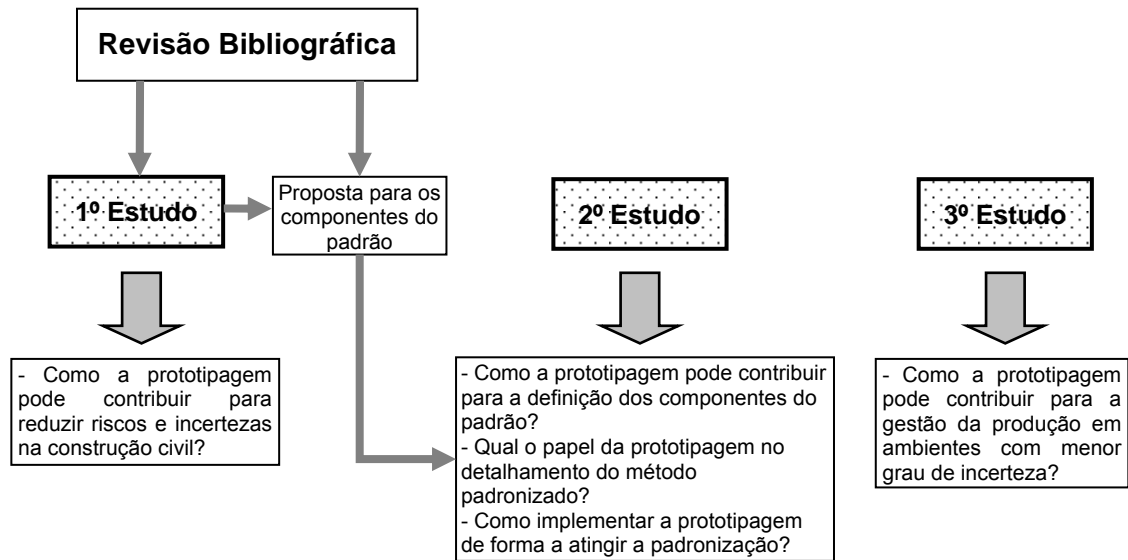
## 1.2 QUESTÕES DE PESQUISA E DELINEAMENTO GERAL DA PESQUISA

A revisão da literatura apontou a necessidade de esclarecer como ocorre o processo de definição do padrão e de redução da incerteza por intermédio do *FRS*. Com base nos relatos de Clark, Chew e Fujimoto (1992) de que na indústria automobilística, após a produção-piloto, é preciso utilizar o início da produção para estudar detalhes pendentes do processo de produção, foi ampliado o escopo da investigação, buscando entender como a prototipagem realizada na etapa de produção pode contribuir para a redução da incerteza por intermédio da definição do padrão. Conforme mencionado, o termo prototipagem é utilizado nesta pesquisa de forma genérica para abranger experimentações realizadas em todas as etapas de desenvolvimento do produto. A prototipagem realizada na etapa de produção abrange os dois tipos de experimentações referenciadas por Clark, Chew e Fujimoto (1992): produção-piloto e *ramp up*.

No entanto, na literatura não havia trabalhos apresentando os componentes que constituem o padrão na construção civil. Assim, foi realizado um estudo inicial com uma questão geral de pesquisa voltada a investigar: Como a prototipagem pode contribuir para reduzir risco e incertezas na construção civil?

A Figura 1.1 mostra que, a partir dos resultados deste estudo inicial e de uma nova revisão da literatura, estabeleceu-se uma proposta para os componentes que constituem o padrão. Desta forma, foi possível dar prosseguimento à pesquisa, buscando esclarecer o papel da prototipagem para a definição dos componentes do padrão e os requisitos para implementar a prototipagem de forma a atingir a padronização.

No terceiro estudo, houve a oportunidade de investigar as contribuições da prototipagem em um ambiente de poucas variações no produto e nas tecnologias utilizadas, caracterizando um contexto de menor grau de risco e incerteza. Uma vez que existia certo domínio do método de trabalho e necessidades não proeminentes de ajustes no mesmo, não havia a expectativa de que neste estudo fossem detectadas contribuições para a definição dos componentes do padrão. Portanto, buscou-se explorar quais as contribuições da prototipagem para a gestão da produção neste contexto.



**Figura 1.1 – Delineamento geral da pesquisa**

### 1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A primeira limitação da pesquisa refere-se ao foco das investigações estarem relacionadas apenas ao processo de produção e não ao produto.

Outra limitação diz respeito ao tipo de prototipagem investigado. Optou-se por analisar apenas a prototipagem física e, mais especificamente, a prototipagem realizada na etapa de produção, abrangendo o *FRS* (produção-piloto) e a prototipagem na produção propriamente dita (*ramp up*). Não foi investigada a utilização da prototipagem rápida, embora existam oportunidades de utilizar recursos de baixo custo na exploração desta tecnologia para intermediar a troca de conhecimento.

Os aspectos comportamentais, embora considerados importantes por Reinertsen (1997) e por Vera e Crossan (2005) para a condução dos processos de experimentação, também não são abordados nesta pesquisa. Reinertsen (1997) destaca a dificuldade do ser humano em aceitar que problemas sejam colocados à mostra e veiculados para outros membros de uma organização. Vera e Crossan (2005) consideram que a dificuldade de comprometimento e envolvimento das pessoas é um fator limitante para a formação de uma cultura voltada à experimentação.

## 1.4 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está organizada em seis capítulos. Neste primeiro capítulo são apresentados o contexto, o problema e as questões de pesquisa formuladas a partir da aprendizagem propiciada pela evolução no entendimento do papel da prototipagem para estudar o processo de produção.

No segundo capítulo é efetuada uma revisão bibliográfica dentro do tema gestão da produção na construção civil. São apresentados os principais conceitos do paradigma de gestão da produção do STP relacionados à variabilidade e as diretrizes adotadas para sua redução. Foi dada ênfase aos conceitos e diretrizes relacionadas à variabilidade, uma vez que o propósito primordial da prototipagem, objeto de estudo nesta tese, é a redução da incerteza.

O terceiro capítulo é dedicado a apresentar a natureza da atividade de prototipagem, a descrição das possibilidades de uso ao longo das etapas de desenvolvimento do produto e as diretrizes que orientam sua aplicação. Nesta revisão bibliográfica, busca-se obter contribuições para nortear a realização da prototipagem com vistas a reduzir a incerteza nos processos de produção na construção civil.

No quarto capítulo é apresentado o método de pesquisa empregado, sendo descrita a estratégia de pesquisa adotada e o seu processo. No quinto capítulo são apresentados os três estudos empíricos realizados com seus respectivos resultados e, finalmente, no sexto são apresentadas as principais conclusões da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.



## **2 GESTÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

---

### **2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Neste capítulo, discute-se a evolução da gestão da produção, assim como um conjunto de conceitos e princípios básicos relacionados a este tema. A compreensão deste referencial teórico é importante, para posteriormente identificar oportunidades de aplicação da prototipagem como ferramenta para apoiar a gestão da produção na construção civil.

Inicialmente são apresentados, em linhas gerais, dois principais paradigmas de gestão da produção (paradigma da produção em massa e o paradigma do STP) e tentativas de abstração para a construção de um referencial teórico. São discutidos alguns conceitos e princípios básicos resultantes deste esforço de abstração, sendo dado destaque à redução da variabilidade, em função da importância deste princípio no presente estudo. Com base nas peculiaridades da construção civil, são apontadas as principais fontes de incerteza. Finalmente, a padronização é abordada em função da sua contribuição para o combate à variabilidade, tendo em vista os benefícios da prototipagem para a redução da incerteza e para a proposição de padrões.

### **2.2 HISTÓRICO DA GESTÃO DA PRODUÇÃO**

#### **2.2.1 Produção em Massa**

Segundo Hopp e Spearman (1996), até a Primeira Revolução Industrial, a principal grande inovação tecnológica havia sido a máquina a vapor, desenvolvida por James Watt em 1765. Nesta época, a produção ocorria em pequena escala, para um mercado limitado e com uso intensivo de mão de obra, que realizava um trabalho essencialmente artesanal. Os referidos autores mencionam que a partir desta revolução, que iniciou em meados do século XVIII na indústria têxtil da Inglaterra, passou a haver uma crescente mecanização em operações tradicionalmente manuais. No entanto, foi ao final do século XIX, através de Ford que a produção em massa surgiu como um paradigma de produção.

Os conceitos e princípios básicos que fundamentam a produção em massa foram propostos pelos primeiros estudiosos da gestão da produção, entre os quais se destacam Taylor e Gilbreth, os quais realizaram os primeiros estudos sistemáticos de processos de produção (SANTOS, 1999). Taylor, considerado o pai da Administração Científica, enfatizava a divisão

do processo de produção em partes, isto é, em unidades de trabalho ou tarefas, melhorando-as individualmente até estabelecer uma forma de execução considerada ideal (*the one best way*) (HOPP; SPEARMAN, 1996). Gilbreth analisou detalhadamente os movimentos do trabalhador e categorizou-os como processamento, transporte, inspeção e espera, com o intuito de eliminar aqueles movimentos considerados desnecessários (KOSKELA, 2000).

Hopp e Spearman (1996) apontam que, no caso da indústria de manufatura americana, dois fatores contribuíram para o desenvolvimento da produção em massa e o crescimento dos negócios: (a) a verticalização, que consistia na centralização de todas as etapas da produção em uma mesma empresa; e (b) a intercambialidade, a qual exigia precisão na produção das partes que constituíam o produto, de forma a assegurar que as mesmas pudessem ser utilizadas na montagem de qualquer produto.

Em função do crescimento dos negócios, a preocupação com a redução dos custos e o aumento da velocidade de produção foi alcançada inicialmente por Andrew Carnegie, na indústria do aço e, depois, consolidada na indústria automobilística por Henry Ford através da criação da linha de montagem por esteira, em que, ao contrário do que ocorria até então, o produto se movia até o operário (HOPP; SPEARMAN, 1996).

O Fordismo preconizava, além do aumento na velocidade de produção, a radical padronização do produto, o uso de máquinas para fins específicos, a adoção de mão de obra não especializada (KOSKELA, 2000) e, assim como na Administração Científica, o estudo detalhado do processo de produção na linha de montagem (SANTOS, 1999). Hopp e Spearman (1996) destacam que a linha de montagem por esteira foi um meio utilizado para assegurar o fluxo de materiais e produto. No entanto, segundo os mesmos autores, o que garantiu o sucesso de Ford diante dos seus competidores foi o estudo detalhado do processo de produção, através do qual se obtinha uma divisão exacerbada das tarefas, as quais se tornaram extremamente simples.

A falha de Ford consistiu em acreditar na possibilidade de produzir um produto perfeito sem que fosse necessário introduzir novos produtos no mercado (HOPP; SPEARMAN, 1996). Apesar da intenção de Ford em manter um fluxo ininterrupto de produção através da linha de montagem, nas empresas de produção em massa uma grande quantidade de matérias primas, produtos semi-acabados e produtos finais se acumulavam nas fábricas (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

A crença de Ford no sucesso dos negócios sem a necessidade de diversificação do produto e a dedicação restrita à fábrica resultaram em desprezo aos aspectos de marketing e

administrativos exigidos pela produção em massa (HOPP; SPEARMAN, 1996). Além disso, outros fatores contribuíram para o declínio deste sistema de produção na Europa e nos Estados Unidos, entre eles se destacam a insatisfação dos trabalhadores com a monotonia do trabalho nas fábricas e a crise econômica decorrente, principalmente, da alta no preço dos combustíveis (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

### 2.2.2 Sistema Toyota de Produção

O declínio da produção em massa foi agravado pelo sucesso dos japoneses na indústria automobilística, especialmente da Toyota, empresa fundada em 1937 e que adotava um sistema de produção que ficou conhecido como Sistema Toyota de Produção (WOMACK; JONES; ROOS, 2004). O Sistema Toyota de Produção (STP) propunha uma nova filosofia de produção, também referenciada como *World Class Manufacturing*, Nova Filosofia de Produção ou *Lean Production* (KOSKELA, 2000).

O STP foi idealizado para um contexto em que o mercado doméstico era limitado, demandando grande variedade de veículos, utilizando uma força de trabalho não disposta a ser tratada como peça intercambiável<sup>4</sup> e numa economia devastada pela guerra, o que inviabilizava pesados investimentos na aquisição de tecnologias ocidentais (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

Um conjunto de fatores contribuiu para que o STP tivesse melhor desempenho que os sistemas de produção das empresas norte-americanas e européias que ainda adotavam o paradigma da produção em massa. Liker (2004) destaca que o fator primordial consistiu na flexibilidade do sistema de produção, que, a partir das idéias de Ohno, adotou a estratégia de produzir segundo a demanda do cliente, limitada em termos de quantidade, porém diversificada.

Segundo Liker (2004) esta estratégia permitiu que a Toyota fizesse uma importante descoberta: a flexibilidade exigia curto tempo de atravessamento, melhor qualidade, maior produtividade e melhor utilização de máquinas e espaço. O mesmo autor acrescenta que, enquanto a produção em massa buscava medir o custo de produção de uma peça em uma máquina, o STP focava-se em eliminar a perda de tempo e materiais estocados em todas as

---

<sup>4</sup> Na produção em massa, o trabalho executado pelos trabalhadores era restrito a operações relativamente simples, tais como apertar parafusos e encaixar peças. O que cada trabalhador deveria fazer era detalhadamente estudado e prescrito por engenheiros de produção ou engenheiros industriais, considerados profissionais capacitados para tal função. Em síntese, os trabalhadores, além das peças que constituíam o produto, eram considerados intercambiáveis (WOMACK; JONES; ROOS, 2004).

etapas do processo, visando a alcançar rapidez e flexibilidade ao fornecer ao cliente o que este solicitasse, no momento correto, com alta qualidade e preço acessível.

Koskela (2000) acrescenta que as contribuições provenientes da administração científica não se restringiram à produção em massa, sendo reinterpretadas alguns anos depois por Ohno e Shingo, idealizadores do STP. Ohno inspirou-se nos objetivos da linha de montagem de Ford para conceber o STP segundo um fluxo contínuo de produção e Shingo reconsiderou a idéia de Gilbreth da produção representada segundo um fluxo constituído de processamento, transporte, inspeção e espera (SANTOS, 1999; KOSKELA, 2000).

Outra importante idéia, inicialmente introduzida por Frank e Lillian Gilbreth, e que ressurgiu por intermédio de Shingo<sup>5</sup>, foi a concepção da produção como uma rede de processos e operações, ou seja, ambos não pertencentes ao mesmo eixo, implicando no fato de que melhorias nas operações pudessem não levar a igual benefício no processo (SANTOS, 1999).

## 2.3 FUNÇÃO PRODUÇÃO

### 2.3.1 Natureza da Função Produção

A partir de uma análise histórica, Koskela (2000) identifica a existência de três conceitos principais que orientam as práticas de gestão da produção:

(a) Transformação: a produção é conceitualizada como uma **transformação** de entradas (insumos) em saídas (produtos). A gestão da produção baseia-se em um dos princípios fundamentais da Administração Científica que consiste em decompor a tarefa (transformação) em operações elementares em busca de melhoria no processo. A adoção desta visão restrita da produção, segundo Koskela (1992), traz uma série de limitações à gestão da produção;

(b) Fluxo: a produção é conceitualizada como um fluxo que contem, além da transformação, etapas que não agregam valor, tais como transporte, inspeção e espera. A gestão da produção foca-se em reduzir a parcela de etapas que não agregam valor, por exemplo, através da redução da variabilidade; e

(c) Valor: a produção é conceitualizada como um meio para atender as necessidades do cliente. A gestão da produção enfatiza a necessidade de traduzir os requisitos do cliente numa

---

<sup>5</sup> Shingo (1988) apud Santos (1999) relata que a concepção da produção como uma rede de processos e operações foi introduzida pela primeira vez por Frank e Lillian Gilbreth em 1921 em uma reunião da *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*.

solução de projeto e garantir seu cumprimento ao longo das etapas seguintes de produção, buscando a gerar o valor demandado pelo cliente. Esta terceira dimensão, com raízes no movimento da qualidade, tem relações com aspectos relacionados ao fluxo, tais como a redução da variabilidade para a melhoria da qualidade do produto, e o aumento da flexibilidade na produção para atender à demanda diversificada.

Koskela (2000) afirma que nenhum dos conceitos individualmente é capaz de embasar uma teoria de produção, uma vez que cada um representa uma perspectiva parcial da produção. A partir de sua tese de doutorado, esse autor busca uma integração destes três conceitos e propõe uma teoria denominada TFV.

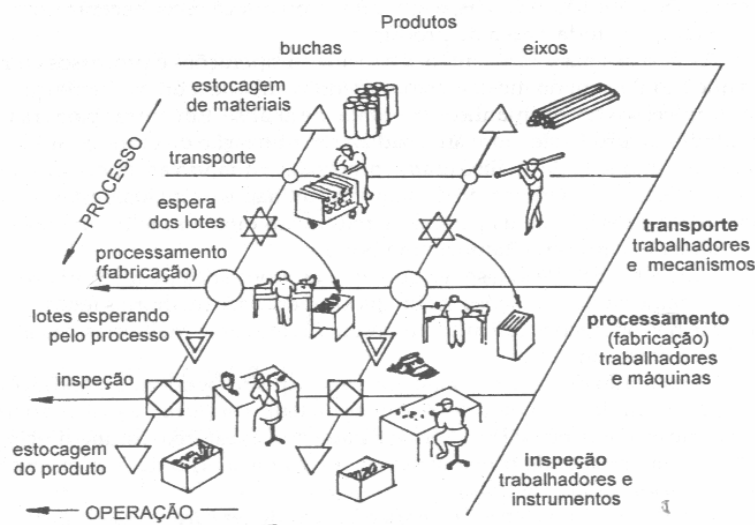
O Mecanismo da Função Produção (MFP), difundida por Shingo a partir de 1945 (ANTUNES JUNIOR, 1998), porém já apresentada pelo casal Gilbreth em 1921 (SANTOS, 1999), constitui-se em outra importante contribuição conceitual para a compreensão da natureza da produção. A produção é representada por uma rede de processos e operações, indicando que um processo não resulta da soma das operações (ANTUNES JUNIOR, 1998). Esta conceitualização representa também uma crítica à visão tradicional de produção baseada no conceito de transformação (KOSKELA, 2000).

Koskela (2000) aponta que duas importantes considerações derivam-se da representação de Shingo da produção. A primeira delas é a inserção do tempo como recurso de produção. Embora a redução do tempo já fosse objeto de atuação na clássica engenharia industrial, a reconsideração do tempo permitiu que a produção fosse concebida segundo um processo físico e pudesse ser modelada por Hopp e Spearman para demonstrar os principais conceitos e princípios do *Just in Time (JIT)*<sup>6</sup>.

A Figura 2.1 ilustra a consideração do tempo como dimensão de análise da produção a partir do MFP. O eixo horizontal registra a evolução física no desenvolvimento do produto. Estão contempladas apenas as mudanças de estado do produto mediante uma atuação da mão de obra e equipamentos (operação), sendo estas correspondentes a produto transformado, produto transportado ou produto inspecionado. Os pontos de interrupção no fluxo de produção não estão representados neste eixo porque não correspondem a uma mudança de estado no produto.

---

<sup>6</sup> O *Just in time (JIT)* é considerado um dos pilares do STP e consiste em produzir a quantidade solicitada, quando solicitada (HOPP; SPEARMAN, 1996).



**Figura 2.1 – Representação do sistema de produção segundo o MFP**  
(Fonte: SHINGO 1996a, 1996b)

No eixo vertical está representado o processo como um fluxo de materiais no tempo e no espaço conforme preconiza Shingo (1996a, 1996b). O principal destaque nesta representação está no fato de adotar o tempo como referencial de observação do fluxo do produto, não sendo limitado à mudança de estado. Portanto, são contempladas as interrupções no fluxo de produção que, sob o ponto de vista temporal, indicam um estado de espera, aguardando uma mudança de estado no produto. Koskela e Kagioglou (2005) destacam que, embora as interrupções na produção não levem a uma mudança de estado na matéria, o tempo invariavelmente existe e transcorre de maneira contínua, constituindo-se em dimensão fundamental de análise do desenvolvimento do produto.

A segunda consideração propiciada pela proposta de Shingo está relacionada à primeira (dimensão tempo) na medida em que as operações de transporte e inspeção consomem tempo, porém a mudança de estado não se constitui em uma evolução do produto na concepção do cliente. Apenas a operação de transformação contribui para a evolução percebida pelo cliente, isto é, para agregação de valor (KOSKELA, 1992). Segundo Ghinato (1996), o MFP ilustra que melhorias no processo incluem não apenas a redução ou eliminação dos espaços entre as intersecções dos eixos ortogonais, sendo estes representados pela espera, mas também, do número de intersecções, isto é, da quantidade de operações.

Hopp e Spearman (1996) enfatizam o entendimento da espera, que, conforme mencionado anteriormente, consome tempo e não proporciona qualquer mudança no estado de evolução do produto. Por intermédio da dimensão tempo, esses autores modelam fisicamente a

produção e, apoiando-se na teoria das filas, explicam os principais efeitos e causas da espera, chamando a atenção para a necessidade de combater as suas causas, uma vez que a mesma se constitui no maior componente do tempo de atravessamento.

Shingo (1996a, 1996b) define processo “como um fluxo de materiais no tempo e no espaço; é a transformação da matéria-prima em componente semi-acabado e daí a produto acabado”. O mesmo autor afirma que “quatro elementos distintos de processo podem ser identificados no fluxo da transformação de matérias-primas em produtos: processamento - uma mudança física no material ou na sua qualidade (montagem ou desmontagem); inspeção - comparação com um padrão estabelecido; transporte - movimento de materiais ou produtos, mudança nas suas posições; espera - período de tempo no qual não ocorre qualquer processamento, inspeção ou transporte”.

No presente trabalho, processo também é definido como um fluxo de materiais no tempo e no espaço. No entanto, a palavra transformação adotada por Shingo é substituída por evolução no desenvolvimento do produto. O elemento do processo denominado por Shingo de processamento é substituído pelo termo adotado por Koskela (2000) como transformação para designar a mudança física no material ou na sua qualidade.

Existem quatro categorias de espera ao longo da produção: espera (estoque) de matéria-prima, espera do lote, espera do processo e espera (estoque) de produtos acabados (ANTUNES JUNIOR, 1998). A espera entre processos (espera do processo) ocorre quando um lote inteiro aguarda o término do processamento de outro lote na estação de trabalho seguinte. A espera entre peças de um mesmo lote (espera do lote), por sua vez, ocorre quando uma dada peça do lote está sendo processada, inspecionada ou movimentada e as demais estão em condição de espera (SHINGO, 1996a, 1996b; ANTUNES JUNIOR, 1998).

O conceito de trabalho em progresso está diretamente associado à espera e refere-se à quantidade total de produtos parcialmente acabados que se acumulam ao longo da linha de produção. Hopp e Spearman (1996) esclarecem que o trabalho em progresso não inclui estoque de materiais não processados no início e ao longo da linha (estações de trabalho), assim como produtos acabados no término da linha, prontos para serem transportados ao cliente. Ou seja, na concepção desses autores, o trabalho em progresso está associado apenas às esperas classificadas por Antunes Junior (1998) como espera do processo e espera do lote.

A redução ou eliminação do trabalho em progresso é um dos elementos fundamentais do *JIT* e constituiu-se em uma das principais diretrizes do STP uma vez que caracteriza

descontinuidade no fluxo de produção, ocasionando longo tempo de atravessamento e falta de flexibilidade para atender mudanças rápidas na demanda. No que diz respeito aos fundamentos da qualidade, o trabalho em progresso encobre a existência de defeitos e permite sua propagação ao longo da linha, causando retrabalho (KOSKELA, 1992).

### 2.3.2 Princípios para a Gestão da Produção

A partir dos conceitos básicos, que explicam a natureza da produção, foram propostos diversos princípios que estabelecem diretrizes sobre como gerenciar a produção.

Womack e Jones (2004) propõem uma abstração do Sistema Toyota de Produção através de cinco princípios básicos:

- (a) especificar o valor com precisão;
- (b) identificar o fluxo de valor, eliminando o desperdício;
- (c) fazer o valor fluir sem interrupções;
- (d) deixar que o cliente puxe valor para, então, produzir;
- (e) perseguir a perfeição.

Picchi (2001) e Bulhões et al. (2005) destacam que uma importante contribuição dos princípios estabelecidos por Womack e Jones (2004) constituiu-se em estender os conceitos e princípios da Produção Enxuta (*Lean Production*) às demais áreas da organização, ampliando o seu enfoque inicial na produção para os sistemas de negócio da empresa. Esta visão mais ampla foi denominada pelos autores de Mentalidade Enxuta.

A continuidade no fluxo de produção é um dos mais importantes princípios da Mentalidade Enxuta, proposta por Womack e Jones (2004). O *Lean Enterprise Institute - LEI* (2003) define fluxo contínuo como a produção de uma única peça de cada vez, indicando a inexistência da espera do lote e ainda, cada item sendo transferido imediatamente de uma estação de trabalho para outra sem nenhuma interrupção, neste caso, indicando a inexistência da espera do processo.

A crítica de Koskela (2000) com relação aos cinco princípios propostos por Womack e Jones recai no fato dos autores não discutirem adequadamente os conceitos relacionados à transformação, fluxo e valor. Segundo o mesmo autor, o conceito de transformação não é abordado, o conceito de fluxo não é profundamente discutido e apenas a produção puxada é



destacada, ao passo que, em determinadas etapas, a produção empurrada é apropriada. Aponta também que, embora o valor seja destacado, os autores se restringem a enfatizar a captura dos requisitos do cliente, porém não apontam a necessidade de transcrição desses requisitos em características do produto.

Koskela (1992) propôs um conjunto de onze princípios para a gestão da produção, em um relatório técnico que discutiu a aplicação dos fundamentos do STP à construção civil. Nesta publicação, o referido autor analisou as práticas vigentes neste setor e observou que, assim como ocorreu com a manufatura, na construção a produção era visualizada como um conjunto de tarefas (transformação)<sup>7</sup>, desprezando os fluxos físicos (transporte, inspeção e espera) entre as mesmas. Segundo Koskela (1992), esta interpretação direcionou os métodos de controle e os esforços de melhorias, desprezando a existência dos fluxos e, conseqüentemente, aumentando sua incidência e elevando o nível de complexidade e incerteza na produção. O mesmo destaca a necessidade de entender as peculiaridades da construção civil com o objetivo de evitar ou aliviar efeitos que dificultem a introdução da visão de fluxo.

Em sua tese de doutorado Koskela (2000) propõe uma revisão dos princípios de gestão da produção, agrupando os mesmos segundo a perspectiva adotada – transformação, fluxo e valor. Neste trabalho, o referido autor estende a conceitualização da gestão da produção para outras etapas do empreendimento, além da produção propriamente dita, tais como suprimentos e projeto.

Hopp e Spearman (1996), em seu livro *Factory Physics*, apresentam um conjunto de leis para a gestão da produção, enfatizando principalmente a perspectiva dos fluxos e a eliminação de atividades que não agregam valor. Os referidos autores estudaram os efeitos e causas da espera e explicaram que a espera do lote decorre da produção de um único produto em grandes lotes (lote não unitário). Já, a espera do processo ocorre porque existe transferência de trabalho (*hand-offs*) entre estações interdependentes com diferentes capacidades de produção (desbalanceadas) e não sincronizadas.

Outra contribuição importante de Hopp e Spearman (1996) para o entendimento da produção segundo a concepção de fluxo refere-se às formas de manifestação e aos efeitos da variabilidade. Os mesmos autores explicam a variabilidade através da teoria das filas, apontando as principais penalidades da sua presença: longo tempo de atravessamento, elevado nível de trabalho em progresso, ociosidade da capacidade de produção e baixo volume de produção.

---

<sup>7</sup> Em Koskela (1992), o autor adotava o termo *conversão* que em Koskela (2000) foi substituído por *transformação*.

Hopp e Spearman (1996) demonstraram que a variabilidade no tempo de processamento em uma estação de trabalho (variabilidade do processamento) repercute na variabilidade do tempo de chegada (variabilidade do fluxo) nas estações seguintes. Este efeito é potencializado quando a carga de trabalho submetida à estação de trabalho está próxima à sua capacidade de produção (alta utilização da capacidade).

A partir do entendimento dos conceitos e princípios relacionados acima, pode-se explicar uma série de práticas adotadas na gestão da produção, particularmente aquelas adotadas no STP. No item seguinte são discutidas algumas das práticas consideradas como as mais relevantes para o presente trabalho. São elas: balanceamento e sincronização das equipes, utilização de *buffers*, existência de gargalos e restrições, redução de tempo de *set up*, produção puxada e empurrada, busca da estabilidade básica.

## **2.4 ALGUMAS PRÁTICAS IMPORTANTES DE GESTÃO DA PRODUÇÃO**

### **2.4.1 Balanceamento e Sincronização**

Segundo Black (1998), o balanceamento implica igualar o tempo de processamento (tempo de ciclo) das estações de trabalho e a sincronização corresponde ao procedimento de conferir ritmo ao fluxo de produção entre as estações de trabalho. Em outras palavras, a sincronização consiste em definir o momento e a quantidade correta a ser produzida com base na demanda da estação de trabalho a jusante.

Ballard e Tommelein (1999) descrevem que o balanceamento pode ser atingido através de alterações na quantidade de trabalho, ou seja, estabelecendo uma nova combinação das operações executadas nas estações ou promovendo mudanças na composição da equipe (capacidade de produção).

Porém, em presença de alta variabilidade no tempo de ciclo nas estações de trabalho, os esforços de balanceamento normalmente são em vão. Howell, Laufer e Ballard (1993a) esclarecem que o conhecimento da capacidade de produção nas estações de trabalho é condição para efetuar o balanceamento, sendo a sua obtenção afetada pela presença da variabilidade no tempo de ciclo das estações anteriores.

Hopp e Spearman (1996) argumentam que o balanceamento é recomendado em situações em que o fluxo na linha de produção é comandado por um fator cujo tempo de ciclo é constante, sendo a velocidade de produção em cada estação de trabalho dependente deste fator. Por exemplo, quando os materiais são transportados por uma correia que se movimenta a uma

velocidade constante, passando pelas estações com os produtos semi-acabados. Caso o operador não cumpra suas operações no intervalo de tempo em que os produtos passam pela sua estação, a movimentação é interrompida até que as operações sejam terminadas. Em síntese, nesta situação os tempos de ciclo estariam estabilizados, ainda que forçadamente, oferecendo condições para o balanceamento.

#### **2.4.2 Utilização de *Buffers***

*Buffers* são folgas no sistema de produção. Estas folgas podem ocorrer na capacidade produtiva (mão de obra e máquinas), mas também na programação (folgas de tempo) ou através de estoques de matéria prima e de produtos semi-acabados (folgas de materiais) (HOWELL; LAUFER; BALLARD, 1993a); (BALLARD; HOWELL, 1997b). Embora no STP seja preconizada a redução ou eliminação de estoques, os *buffers* devem ser adotados em determinadas situações para viabilizar um desejado desempenho do sistema de produção - são consideradas por Spear e Bowen (1999) como contra-medidas, que são adotadas até que sejam implementadas melhorias do sistema de produção.

Estas medidas têm, entre outros objetivos, eliminar as interações imediatas entre estações de trabalho interdependentes, protegendo-as da variabilidade de fluxo resultante da variabilidade de processamento nas estações antecessoras. Desta forma, torna-se possível estudar as causas da variabilidade de processamento nas estações de trabalho e atuar na sua redução para, então, identificar a capacidade de produção e efetuar o balanceamento (HOWELL; LAUFER; BALLARD, 1993a). Em uma etapa seguinte, tendo estabilizado a produção nas estações e aprimorado o balanceamento, busca-se uma redução dos *buffers* (BALLARD; HOWELL, 1997a).

Howell, Laufer e Ballard (1993a) salientam que um sistema de produção deve ser continuamente melhorado, evoluindo de uma situação de alta interação e desbalanceamento entre as estações de trabalho para um estado de baixa interação e ainda desbalanceamento para, enfim, uma situação de redução das folgas e balanceamento, caracterizando um fluxo contínuo de produção.

#### **2.4.3 Existência de Gargalos e Restrições**

Em situações em que cada estação de trabalho adota o seu próprio ritmo, o ciclo de produção da linha é função da velocidade da seção mais lenta, sendo esta denominada estação

gargalo. Nestes casos Hopp e Spearman (1996) comentam que o balanceamento não é apropriado pelas seguintes razões:

- Uma linha de produção com fluxo desbalanceado em que uma estação possua velocidade de produção significativamente menor que as demais é mais fácil de gerenciar, uma vez que o problema é facilmente identificado e concentrado;
- Como o custo dos recursos, em geral, é diferente em cada estação, é mais viável manter excesso de capacidade em uma estação do que em outra;
- O incremento de capacidade é, normalmente, possível em pequenas quantidades, não permitindo grandes ajustes.

Cox e Spencer (2002) denominam Gerenciamento das Restrições à abordagem de gestão voltada a manter a continuidade da produção na estação gargalo. *Buffers* na forma de trabalho em progresso e de produtos prontos são alocados, respectivamente, em frente à estação gargalo com a finalidade de manter a total utilização de sua capacidade e ao final da linha a fim de garantir as datas de entrega já que o tempo de ciclo da linha de produção é limitado à velocidade do gargalo. Conforme mencionam Rodrigues e Mackness (1998), neste caso é adotado um *mix* de sistema puxado e empurrado em que a produção nas estações anteriores ao gargalo é puxada pela demanda deste e nas estações posteriores, empurrada.

#### 2.4.4 Produção Puxada e Empurrada

Um sistema puxado consiste em controlar a produção entre dois processos e ordenar o momento e a quantidade exata a ser produzida com base na necessidade do processo posterior. Já um sistema empurrado consiste em produzir independente da necessidade do processo posterior (cliente). Nesta situação, a produção é comandada por uma programação que tenta prever a demanda do processo cliente (ROTHER, SHOOK, 2002).

Rother e Shook (2002) sugerem a adoção de um *mix* de sistema puxado e fluxo contínuo. O processo puxador (estação) constitui-se no ponto do fluxo de valor que recebe a programação da demanda do cliente, composta pelo *takt-time*<sup>8</sup> e pela sequência de variedades de

---

<sup>8</sup> Alvarez e Antunes Junior (2001) enfatizam a diferença conceitual entre o termo *takt-time* e tempo de ciclo. *Takt-time* corresponde ao ritmo de produção necessário para atender a demanda e, matematicamente, resulta da razão entre o tempo disponível para a produção e o número de unidades a serem produzidas. Sob o ponto de vista da dimensão tempo, corresponde ao intervalo de tempo requerido (demanda) entre o início ou término da produção de duas peças sucessivas. Assim, segundo Alvarez e Antunes Junior (2001), a relação entre tempo de ciclo e *takt-time* é estreita, na medida em que o primeiro é um limitante do segundo. O ritmo da linha de produção (*takt time* efetivo) é

produtos, por exemplo, dois produtos X, um produto Y (XXYXXYXXY...). Portanto, o processo puxador estabelece o ritmo de produção do fluxo de valor com base no *takt-time* e puxa a produção nos processos a montante que produzem em lote não unitário.

A sincronização entre o processo puxador e os anteriores pode ser estabelecida por intermédio de *kanbans*, dispositivos de comunicação idealizados por Ohno com base na lógica do supermercado, cuja finalidade é instruir a quantidade e o momento em que o processo anterior deve produzir para repor os produtos utilizados pelo processo seguinte (ROTHER; SHOOK, 2002).

Em síntese, Rother e Shook (2002) recomendam iniciar com a meta de fluxo contínuo no processo puxador, onde sub-processos são agrupados e os elementos de trabalho distribuídos entre os operadores de tal forma que o conteúdo do trabalho de cada operador possa ser cumprido dentro de um tempo de ciclo ligeiramente inferior ao *takt-time*. Portanto, a busca pelo balanceamento fica, inicialmente, restrita ao processo puxador, sendo a sincronização adotada nas estações com base na demanda deste. À medida que os processos submetidos a um programa de melhoria contínua tornam-se mais confiáveis e o tempo de trocas de ferramentas a cada mudança de produto se aproxima de zero, há a possibilidade de expandir o fluxo contínuo ao longo do fluxo de valor.

A confiabilidade no tempo de ciclo, em especial do processo puxador, implica o combate à variabilidade do processo e, portanto, na redução da espera do processo, cumprindo assim, um dos requisitos para o fluxo contínuo.

#### **2.4.5 Redução do Tempo de *Set Up***

A redução do tempo de *set up* a cada mudança de produto tem como objetivo combater a espera do lote na medida em que permite trabalhar com lotes de produção unitários ou ao menos, pequenos lotes, cumprindo outro requisito para o fluxo contínuo (KOSKELA, 2000). Esta melhoria foi perseguida por Shingo através da diminuição do tempo para execução das operações de *set up* (preparação) a cada mudança de produto na linha de produção (ANTUNES JUNIOR, 1998). Como este procedimento de preparação envolvia troca rápida de ferramentas (TRF) ficou conhecido por este nome e tinha como principais diretrizes:

- (a) separação das operações de preparação internas e externas;

- (b) conversão de operações de preparação interna em externa; e
- (c) eliminação de ajustes e operações desnecessárias (SHINGO, 1996a).

Como operações de preparação internas, Shingo descreve aquelas executadas quando a máquina está parada, ao passo que as externas são efetuadas com a máquina em funcionamento. Este autor menciona que, por intermédio das diretrizes relacionadas acima, é possível reduzir o tempo de preparação para menos de 5% do seu valor inicial.

#### **2.4.6 Busca da Estabilidade Básica**

Smalley (2007) aponta a necessidade de alcançar a estabilidade básica antes de buscar a implementação do fluxo contínuo. A redução da variabilidade do processo está relacionada ao que Smalley denomina estabilidade básica. O autor descreve a estabilidade básica como um estado de previsibilidade do tempo de ciclo, assegurada pela disponibilidade constante de um conjunto de recursos de mão de obra, máquinas, materiais e métodos, também denominado de 4M's.

Smalley (2007) esclarece que a disponibilidade de mão de obra implica equipes treinadas, capazes de executar a tarefa. Com relação às máquinas, o mesmo autor afirma que é necessário conhecer a demanda do cliente (*takt-time*), a capacidade teórica e a capacidade demonstrada de produção das máquinas, de forma a atuar corretivamente quando estas não atendem à demanda. A disponibilidade de material, segundo o mesmo autor, requer o conhecimento da velocidade de consumo, função do ritmo de produção. Finalmente, Smalley (2007) complementa que para atingir a estabilidade básica é preciso possuir métodos de trabalho padronizados.

O termo estabilidade básica está associado ao que Treville e Antonakis (2005) denominam facilitação<sup>9</sup> do trabalho. Este termo é adotado por estes autores para se referir a "ações voltadas a remover obstáculos que inibem o desempenho do trabalhador e a provisão de recursos, equipamentos e treinamentos para que o trabalho possa ser bem executado".

No contexto da construção civil, Machado (2003) e Santos (2004), respectivamente, utilizam o termo antecipações ou atividades facilitadoras para referenciar ações gerenciais que provêm os recursos e informações necessárias para que as tarefas sejam executadas sem interrupções. Os citados autores efetuaram estudos empíricos com o objetivo de levantar e

---

<sup>9</sup> Facilitação: ato ou efeito de facilitar; remoção de dificuldades ou obstáculos (BUENO, 1996).

classificar estas ações. A intenção dos mesmos era contribuir para que estas classes de ações pudessem ser inseridas nos procedimentos padronizados de execução em obras.

Assim, as recomendações para obtenção da estabilidade básica sugerem que o combate à variabilidade do processo está associado à aquisição de conhecimento a respeito do método de trabalho empregado e do comportamento do fluxo de recursos.

## **2.5 VARIABILIDADE E INCERTEZA**

### **2.5.1 Origens**

Hopp e Spearman (1996) diferenciam a variabilidade decorrente do comportamento randômico daquela nomeada pelos autores como variação controlável: a primeira é consequência de eventos sobre os quais não temos controle imediato enquanto que a variação controlável é decorrente de decisões tomadas. Assim, a variabilidade no tempo de processamento devido à fabricação de produtos diferentes é esperada, ao passo que as variações causadas por falhas da máquina, por exemplo, são consideradas, de certa forma, contingências. Os mesmos autores acrescentam que embora ambas tenham repercussão no tempo de processamento, a variação de caráter randômico é geralmente foco de investigação, uma vez que a sua ocorrência acarreta efeitos que tendem a ser inesperados.

Hopp e Spearman (1996) descrevem que, no passado, filósofos buscaram interpretar as reais causas da variabilidade, visando a orientar atuações que permitissem combatê-la. Uma das interpretações era de que a variabilidade fosse decorrente da falta de informações e, portanto, assumia que o total conhecimento das leis da física, aliado a uma descrição completa do universo, deveria propiciar previsões totalmente seguras. Outra vertente entendia que o universo se comporta de forma randômica e que a detenção do conhecimento não era condição suficiente para se predizer com segurança o futuro.

Williams (2002), por sua vez, atribui a incerteza gerada pela presença da variabilidade não apenas a fatores randômicos, mas também epistemológicos, sendo estes últimos relacionados ao desconhecimento de métodos e objetivos a serem alcançados. Este autor comenta que, embora a incerteza associada aos dois fatores implique diferentes formas de atuação, ambos misturam-se entre si, sendo difícil distingui-los. O autor acrescenta que, sob o ponto de vista de gestão, a incerteza epistemológica constitui-se no principal problema, especialmente em situações novas nas quais não existem evidências históricas para embasar previsões.

Uma série de autores, entre os quais, Ghinato (1996), Imai (1997), Antunes Junior (1998), Monden (1998), Spear e Bowen (1999), Santos, Formoso e Tookey (2002), Liker (2004) e Treville e Antonakis (2005) destacam a padronização como um dos principais mecanismos de combate à variabilidade.

Conforme Imai (1997), a padronização promove a redução da variabilidade porque estabelece uma meta a ser atingida e institui um método de execução da tarefa seguido por todos e definido a partir do conhecimento adquirido pelos trabalhadores.

A definição de um método de trabalho e o treinamento da equipe para executá-lo oferece condições para o conhecimento da velocidade de consumo de materiais e para identificação de problemas relacionados às máquinas, favorecendo o fluxo adequado de recursos (TREVILLE; ANTONAKIS, 2005).

Antes de discutir as contribuições da padronização para combater a variabilidade, são discutidas as fontes de incerteza na construção civil a partir de suas peculiaridades e das características do seu sistema de produção.

### **2.5.2 Fontes de Incerteza na Construção Civil**

Koskela (1999, 2000) observa que no sistema de produção da construção civil há fluxos de materiais e componentes dos fabricantes até o canteiro de obras e também os fluxos de montagem dentro da obra, resultante de diferentes tarefas (por exemplo, confecção e montagem de formas, confecção e montagem da ferragem e concretagem). Duas peculiaridades na produção da edificação devem ser destacadas: o tamanho do produto edificação e o fato deste permanecer fixo no local de produção, sendo necessário que as equipes se desloquem para os locais onde as tarefas são executadas. Ou seja, fazendo uma associação com a produção na manufatura, as estações de trabalho é que se deslocam.

Destas particularidades resulta um fluxo que Koskela (1999, 2000) denomina fluxo ao espaço associado às tarefas executadas em diferentes locais por equipes que se deslocam, como, por exemplo, a montagem de esquadrias em diferentes locais da edificação. Aquele autor explica que, embora na produção do automóvel, os diferentes componentes sejam instalados por distintas equipes, a compacidade do produto automóvel permite que os mesmos sejam montados, em geral, em uma única tarefa em uma estação de trabalho.



Além do congestionamento das partes<sup>10</sup>, mencionado por Hopp e Spearman (1996), que caracteriza o trabalho em progresso, em função do fluxo de trabalho aos locais para executar diferentes tarefas, na construção existe ainda o congestionamento da estação de trabalho. Este congestionamento não ocorre na produção de automóveis porque, em um dado momento, uma parte encontra-se sendo processada em única estação de trabalho (KOSKELA, 1999, 2000).

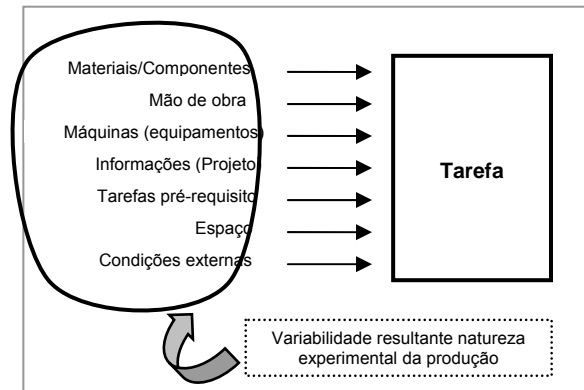
Outra peculiaridade consiste no fato da produção da edificação ocorrer sob as intempéries, fazendo com que a sua evolução seja dependente das condições externas (temperatura, chuva e vento, por exemplo) e constituindo-se em outro fluxo não presente na modelagem física do sistema de produção da manufatura (KOSKELA, 1999, 2000).

A Figura 2.2 apresenta os sete *inputs* identificados por Koskela (1999, 2000) como pré-condições (requisitos) para a realização da tarefa no caso da construção. Destes sete *inputs*, apenas dois, associados aos materiais e componentes e a interdependência entre tarefas, são enfatizados por Hopp e Spearman (1996) como diretrizes para a gestão de sistema de produção na manufatura. Conforme mencionado anteriormente, Smalley (2007) propõe a gestão de apenas 4Ms: mão de obra, máquinas, materiais e método padronizado.

Koskela (1999, 2000) destaca ainda a natureza experimental da produção na construção, decorrente da característica única do produto edificação e do fato de que as relações entre as organizações envolvidas na sua produção têm um caráter temporário. Estas peculiaridades, também presentes em outras atividades, tais como na indústria cinematográfica e na produção de programas computacionais (BERTELSEN, 2003b), fazem com que o produto constitua-se no seu próprio protótipo, sendo a atividade de produção conduzida em um ambiente de constante depuração de erros, resultando em uma fonte de variabilidade para os fluxos alimentadores da tarefa, conforme mostra a Figura 2.2.

---

<sup>10</sup> Na produção da edificação também há este congestionamento caracterizado por partes da edificação que aguardam serem trabalhadas por outras equipes, por exemplo, paredes de alvenaria prontas aguardando até que o revestimento inicie.



**Figura 2.2 – Inputs do sistema de produção da construção (adaptado de Koskela, 1999; 2000).**

Koskela (1999) esclarece que condições externas, tais como, altas temperaturas, chuva e vento constituem-se em uma fonte específica de variabilidade. Além disto, segundo o mesmo autor, a produtividade da mão de obra, ao executar tarefas que requerem habilidade manual, é inerentemente variável. Além de cada um destes *inputs* estarem sujeitos à variabilidade, há ainda interferência entre os mesmos, causando uma configuração mutante na disponibilidade de cada um. Por exemplo, a combinação destes fatores interfere na disponibilidade de espaço para que a equipe possa iniciar a sua tarefa naquele determinado local. Por esta razão, é comum na construção civil o início de uma determinada tarefa sem que todos os *inputs* para execução da tarefa estejam disponíveis.

Ronen (1992) nomeia este conjunto de *inputs* necessários para execução da tarefa de forma segura, sem interrupções e baixa produtividade como *kit* completo. Koskela (2004) utiliza o termo *making-do* para referir-se ao ato de iniciar a tarefa sem que o *kit* completo esteja disponível. O autor acrescenta que o *making-do* tem uma conotação de *buffer* negativo, ou seja, contrapõe-se à situação em que a tarefa inicia com um estoque excedente de recursos disponíveis e constitui-se em uma quarta penalidade além das três (1- trabalho em progresso e, conseqüentemente, longo tempo de atravessamento; 2- desperdício de capacidade e 3- baixo volume de produção) observadas por Hopp e Spearman (1996) em decorrência da variabilidade.

O início da tarefa sem a disponibilidade do *kit* completo acarreta condições sub-ótimas ou desfavoráveis de execução evidenciadas por: (a) postos de trabalho congestionados com presença de outras equipes; (b) tarefa fora da seqüência ideal; (c) falta de condições para efetuar um plano detalhado de execução; (d) posto de trabalho obstruído por materiais estocados; (e) uso de equipamentos não apropriados para a tarefa; e (f) falta de materiais, equipamentos e instruções (KOSKELA, 1999).

Ronen (1992) relaciona as conseqüências decorrentes do início de tarefas sem o *kit* completo, relatando uma seqüência interligada e evolutiva de efeitos que inicia com aumento da variabilidade, repercutindo em grande quantidade de trabalho em progresso, longo tempo de atravessamento, baixo volume de produção, baixa qualidade e retrabalho. Koskela (2004) acrescenta a esta lista de conseqüências, a redução da segurança em função da tarefa ser executada em condições inadequadas.

Este conjunto de efeitos, especialmente a baixa qualidade, retrabalho e falta de segurança, eleva o grau de incerteza no processo de produção (TREVILLE; ANTONAKIS, 2005) evidenciando que a variabilidade na disponibilidade dos *inputs* da tarefa leva a um ciclo vicioso em que mais variabilidade é gerada.

A seguir, a padronização do trabalho é discutida a luz de diferentes visões, uma vez que existem vertentes que incentivam a intensificação do conhecimento relacionado ao processo de produção, porém, não preconizam o cumprimento de um método de trabalho padrão excessivamente detalhado.

## 2.6 PADRONIZAÇÃO DO TRABALHO

### 2.6.1 Padronização e a Melhoria Contínua

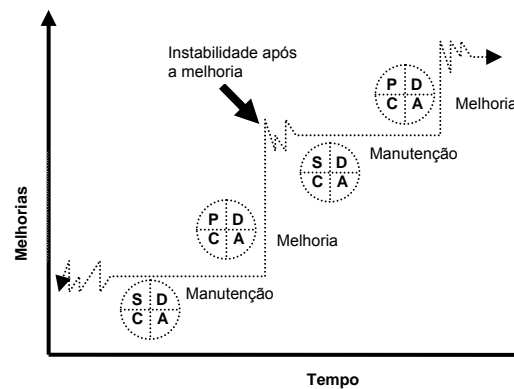
O Productivity Press Development Team (2002) apresenta as seguintes definições para os termos padrão e padronização:

“(a) **Padrão:** conjunto de regras que fornecem clara expectativa a respeito do desempenho;

(b) **Padronização:** envolve estabelecer, comunicar, aderir e melhorar o padrão;”

O Productivity Press Development Team (2002) aponta que a criação de padrões e a padronização são importantes passos na atividade de melhoria contínua. Para Campos (1992), a padronização é considerada a mais fundamental das ferramentas gerenciais. Em concordância com estas afirmações, Imai (1997) destaca que o sucesso no gerenciamento consiste em manter e melhorar padrões e acrescenta que a padronização está inserida em um contexto de melhoria contínua e, portanto, a aderência a procedimentos previamente estabelecidos não implica métodos de trabalho fixos e em um ambiente de trabalho monótono.

Imai (1997) considera o padrão como requisito básico para o processo de melhoria contínua na medida em que a inexistência deste impossibilita avaliações quanto à evolução no *status*. A Figura 2.3 ilustra a interpretação de Imai (1997) para o processo de melhoria contínua no qual a padronização se insere. De acordo com o mesmo autor, a melhoria contínua se dá por intermédio de uma espiral de evolução constituída por dois ciclos: o ciclo *SDCA* (*Standardize-Do-Check-Act*) e o ciclo *PDCA* (*Plan-Do-Check-Act*). O ciclo *PDCA*, em realidade, foi originalmente proposto por Shewhart, sendo posteriormente divulgado por diversos autores, principalmente Deming (CAMPOS, 1992; IMAI, 1997; PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM, 2002).



**Figura 2.3 – Melhoria contínua – ciclo *SDCA* e ciclo *PDCA***  
**Fonte: Imai (1997)**

O primeiro ciclo, *SDCA*, apresenta um conjunto de passos cujo objetivo é a previsibilidade dos resultados através da implantação e manutenção do padrão. Os passos *Check-Act* são procedimentos voltados a verificar os resultados e agir para manter a fidelidade com o padrão. O segundo ciclo, *PDCA*, apresenta um conjunto de passos cujo objetivo é propor mudanças no padrão vigente em busca de melhor desempenho, promovendo ciclos de melhoria contínua com repercussões na competitividade da empresa (CAMPOS, 1992). Imai (1997) explica que quando o padrão está implantado sem ocorrência de anormalidades, o processo está sob controle, isto é, estabilizado e o próximo passo é elevar o padrão para um nível de melhor desempenho.

Campos (1992) afirma que a revisão de padrões pode ocorrer pelas seguintes razões: alteração da qualidade requerida pelo cliente; pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e materiais ou melhoria dos existentes; evolução na tecnologia; avanços da capacidade do processo; ocorrência de problemas e tomadas de ações corretivas; reclamações de clientes; alteração do projeto do produto e melhorias do processo.

Imai (1997) e o Productivity Press Development Team (2002) constantemente referenciam a inserção da padronização no processo de melhoria contínua (*kaizen*). Este destaque do papel da padronização no *kaizen* justifica-se pela ênfase na melhoria incremental constante na cultura japonesa, contrastando com a cultura ocidental que tende a desprezar os benefícios de longo prazo propiciados pelo *kaizen*.

No entanto, as razões para revisão do padrão relacionadas por Campos (1992) indicam que a padronização está presente também nos processos de inovação. De fato, Imai (1997) abrange no termo melhoria, não apenas a melhoria contínua (*kaizen*) de caráter gradual e constante, mas também, as inovações, estas envolvendo melhorias drásticas resultantes de grandes investimentos em novas tecnologias e equipamentos.

A literatura apresenta métodos estruturados para orientar os processos de melhoria contínua, incluindo uma série de ferramentas de gestão para aplicação em cada etapa do método. Alguns autores, tais como, Currie (1977), Oglesby, Parker, Howell (1989) e Santos et al (1996)<sup>11</sup> propuseram métodos de intervenção visando a orientar o processo de melhoria contínua. Tais métodos podem ser vistos como adaptações do ciclo *PDCA* a contextos específicos, tendo, entre os objetivos principais, a definição evolutiva de padrões com base no entendimento da situação vigente a partir de dados coletados. No próximo tópico são apresentadas as etapas do ciclo *PDCA* e os requisitos para aplicação do método.

### 2.6.2 Etapas do Ciclo *PDCA* e Requisitos para Aplicação

O ciclo *PDCA* é reconhecido por Imai (1997), Campos (1992) e pelo Productivity Press Development Team (2002) como um método formal e estruturado para solução de problemas, baseado em dados coletados sobre a situação existente, incluindo quatro passos gerais para orientar a intervenção:

(a) **Plan** (planejar): estabelecer metas e métodos para atingi-las. Esta etapa inclui a seleção de um propósito para atuação, o entendimento do *status quo* (situação vigente) e a definição de uma meta; o levantamento das causas do problema e finalmente, a proposição de um plano de ação para sua solução;

(b) **Do** (executar): implementar o plano de ação;

---

<sup>11</sup> Um método para intervenção visando à redução de perdas na construção civil foi adotado por Santos em 1995 na sua dissertação de mestrado, sendo posteriormente aplicado em um número maior de empresas de construção civil e resultou na publicação de um manual prático para intervenção, apresentado em Santos et al. (1996).

(c) *Check* (verificar): confirmar os efeitos do plano implementado;

(d) *Act* (agir): estabelecer ou revisar o padrão para prevenir recorrência do problema.

Por exemplo, os métodos adotados por Currie (1977), Oglesby, Parker e Howell (1989) e Santos et al (1996) podem ser sintetizados nas seguintes etapas: seleção de um propósito para intervenção, diagnóstico da situação vigente através da coleta e análise de dados, proposição de um plano alternativo e, por último, teste e implementação deste como prática padrão.

Ballard e Howell (1997a) destacam que um aspecto importante na definição do propósito que rege a melhoria é a integração de diversas dimensões de desempenho, sugerindo que seja priorizada a segurança, depois a qualidade, o prazo e por último, o custo. Por outro lado, Imai (1997) sugere que a dimensão de desempenho que rege os ciclos de melhoria é função da política de gestão da empresa ou de prioridades e urgências da situação vigente. Porém, o mesmo autor enfatiza a atuação na dimensão qualidade dada a sua repercussão nas dimensões custo e prazo.

Imai (1997) e o Productivity Press Development Team (2002) chamam a atenção para a necessidade de estabelecer uma meta clara a ser atingida de tal forma que seja possível avaliar se o plano proposto está obtendo sucesso na solução do problema ou na questão selecionada para melhoria. Além disso, Linderman et al. (2003) argumentam que a especificação clara de uma meta contribui para reduzir a variabilidade no desempenho porque promove um entendimento uniforme de um objetivo comum, ao contrário das situações em que a designação do trabalho vem acompanhada de instruções vagas do tipo “faça o seu melhor”. Para os mesmos autores, a meta de desempenho é parte constituinte do padrão.

Hopp e Spearman (1996) recomendam cautela na definição de metas, pois quando excessivamente desafiadoras podem levar à desmotivação da equipe. Em tarefas novas e quando não é possível efetuar estudos piloto para obtenção de dados, Howell e Ballard (1997) e Rother e Harris (2002) sugerem o uso de dados históricos referentes a situações similares para embasar os planos iniciais.

Com relação à etapa de detecção e causa de problemas, existem diversas ferramentas que permitem realizar esta tarefa de forma mais sistemática, tais como as ferramentas da qualidade (CAMPOS, 1992, PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM, 2002), o mapeamento do fluxo de valor (ROTHER e HARRIS, 2002). Cada um dos métodos de intervenção mencionados (CURRIE, 1977; OGLESBY et al.; 1989; e SANTOS, 1995), por sua

vez, propõem a utilização de uma série de ferramentas de diagnóstico que se complementam, as quais podem ser utilizadas antes e depois da implementação das mudanças nos processos.

No que se refere especificamente ao estabelecimento de padrões, Monden (1998) e o Productivity Press Development Team (2002) apresentam a planilha de operação padrão, também denominada de planilha do trabalho padronizado. Nesta planilha são apresentadas as informações referentes ao padrão vigente, tais como a relação de operações que compõem a tarefa, as suas durações e a seqüência em que são executadas, de tal forma que o tempo de ciclo seja adequado ao *takt-time*, assim como os pontos de inspeção da segurança e da qualidade. A finalidade desta planilha é realizar, de forma visual, uma divulgação eficaz do padrão, cumprindo um importante quesito mencionado por Imai (1997) para sua efetiva implementação.

Linderman et al. (2003, 2005) avaliaram empiricamente as relações entre o uso de ferramentas de gestão da qualidade e o sucesso no cumprimento das metas. Esses autores constataram que nas situações em que o problema é facilmente identificado e a solução é óbvia, o uso das ferramentas de gestão da qualidade pode resultar na redução do desempenho da equipe e em dificuldades no cumprimento da meta. Por outro lado, concluíram também que, quando as metas são desafiadoras e a situação é complexa, o cumprimento das metas depende fortemente do conhecimento técnico e de fatores motivacionais. Nessas situações, a aquisição do conhecimento técnico mostrou-se positivamente influenciado pelo uso de ferramentas de gestão da qualidade.

Linderman et al. (2003) explicam que, quando não existe conhecimento técnico, o processo de melhoria ocorre de forma incidental ou através da aprendizagem implícita. O uso de métodos formais de melhorias, tais como o ciclo PDCA, associado ao emprego de ferramentas de gestão da qualidade apropriadas a cada etapa do método permitem a aquisição do conhecimento de forma intencional ou através da aprendizagem explícita. Neste contexto, o uso de ferramentas, como, por exemplo, o diagrama de causa-efeito<sup>12</sup> e os cinco porquês<sup>13</sup>, tende a promover a aprendizagem em equipe (IMAI, 1997; PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM, 2002).

---

<sup>12</sup> O diagrama de causa-efeito, também denominado diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe, permite estruturar as possíveis causas do problema (IMAI, 1997). A identificação das causas pode ser realizada através da busca por respostas para a indisponibilidade para cada um dos *inputs* do processo, tais como os 4Ms sugeridos por Imai (1997) ou os sete fluxos propostos por Koskela (2000)

<sup>13</sup> Consiste em perguntar por que até que a chamada causa-raiz do problema seja identificada (IMAI, 1997).

Kondo (1991) por sua vez, dedicou-se ao entendimento das relações entre os fatores motivacionais e o cumprimento das metas estabelecidas. Segundo aquele autor, a participação de trabalhadores que executam a tarefa na definição das metas a serem atingidas contribui para o seu comprometimento em relação às mesmas, ao passo que quando não há participação, os trabalhadores tendem a apresentar desculpas para o não cumprimento das mesmas.

No entanto, Kondo (1991) enfatiza que o aspecto mais importante na motivação para o cumprimento da meta é o reconhecimento do esforço empreendido pelos trabalhadores e da criatividade e originalidade das soluções em busca da meta. O mesmo autor explica que a avaliação do desempenho não deve estar atrelada somente aos resultados, mas a entender o porquê e como o processo sofreu mudanças.

Ballard e Howell (1997) mencionam que não existe suporte científico atestando que a participação na definição das metas aumenta a motivação para atingi-las. Para os referidos autores, o entendimento das metas tem maior repercussão no desempenho do que a participação ao estabelecê-las, sendo que a maior contribuição dos trabalhadores ocorre no planejamento de como executar as tarefas, isto é, na definição do método de trabalho.

Treville e Antonakis (2005) destacam duas justificativas para a participação ativa dos trabalhadores que executam a tarefa na definição do método de trabalho a ser cumprido: (a) conhecimento prático de como a tarefa se desenvolve (b) sentimento de propriedade em relação ao método prescrito, contribuindo para que o mesmo seja seguido.

Um requisito destacado por Imai (1997) para a aplicação do ciclo *PDCA*, de forma que este tenha repercussão no cumprimento das metas, refere-se à presença do gerente em *gemba*<sup>14</sup>. Para aquele autor, a coleta de dados elaborada por outros profissionais não é suficiente para que o gerente entenda a situação vigente, assim como os efeitos do plano alternativo implementado. A alegação primária de Imai (1997) para justificar a presença do gerente na linha de produção é a necessidade de que este profissional conheça as condições do local onde a tarefa é executada, na medida em que fazem parte das suas responsabilidades definir o padrão e assegurar as condições para cumpri-lo, incluindo o treinamento de trabalhadores e a disponibilização de máquinas e materiais necessários.

Além disso, segundo Imai (1997), esta prática frequentemente elimina a necessidade de grande quantidade de dados coletados, possibilitando a quem toma a decisão o acesso à informação

---

<sup>14</sup> *Gemba* é uma palavra japonesa que significa “lugar real”, ou seja, local de trabalho ou local onde o valor é adicionado. Na manufatura, equivale ao termo chão de fábrica (IMAI, 1997). Por associação, quando se trata da construção civil, este termo significa canteiro de obras.



em tempo real. Este fator permite a rápida tomada de decisão e, aliado a disponibilidade dos *inputs* (mão de obra, materiais e máquinas), assegura a rápida implementação do plano, acelerando o processo de aprendizagem. O mesmo autor aponta que cerca de 90% das anomalias podem ser resolvidas em *gemba* quando os gerentes testemunham os problemas e insistem na busca de sua solução. Além disto, o comprometimento do gerente contribui para a obtenção da confiança e respeito dos trabalhadores (VERA; CROSSAN, 2005; OWEN et al., 2006), situação esta que tende a aumentar a motivação da equipe para a aprendizagem e para o alcance das metas.

A participação ativa dos trabalhadores na definição do método de trabalho e a presença do gerente em *gemba* com o objetivo de promover a aprendizagem conjunta com os trabalhadores fazem parte de uma abordagem da padronização, diferente daquela preconizada por Taylor. A seguir é brevemente apresentada uma evolução das abordagens de padronização.

### **2.6.3 Evolução das Abordagens de Padronização**

Hopp e Spearman (1996) citam que a proposta de Taylor consistia no estudo detalhado de cada tarefa por parte de um especialista até estabelecer uma melhor forma para executá-la. Este estudo baseava-se na divisão do trabalho em unidades menores de forma a permitir a análise minuciosa dos movimentos do trabalhador, resultando na prescrição de um procedimento padrão para execução. O entendimento era de que quando este procedimento padrão era rigorosamente seguido, atingia-se a produtividade de um operário classe A, sendo esta marca fonte de incentivo e referência para remuneração da força de trabalho.

Hopp e Spearman (1996) acrescentam que a divisão do trabalho estendia-se também às funções de planejamento e execução: Taylor entendia que o limitado nível de educação dos operários era um obstáculo ao uso de métodos científicos para gerenciar as fábricas. A solução foi separar as funções de concepção da execução propriamente dita.

É importante observar que, embora achasse necessária a divisão das funções, Taylor valorizava a cooperação entre operários e gerentes e entendia que os ganhos de produtividade provenientes deste trabalho conjunto deveriam ser repassados aos operários (HOPP; SPEARMAN, 1996). No entanto, o fato dos proprietários das fábricas aplicarem os princípios de Taylor para melhorar a produtividade, sem repassar os ganhos para a remuneração dos operários contribuiu para que o Taylorismo ficasse associado à exploração da força de trabalho (SANTOS, 1999).

Juran (1992) aponta que, neste contexto de divisão do trabalho, foram criados departamentos de planejamento com responsabilidade para desenvolver métodos científicos para a execução do trabalho, desenvolver metas de produtividade, estabelecer sistemas de premiação para o cumprimento das metas e treinar o pessoal para o uso dos métodos.

A divisão das tarefas em operações simples e de ciclo curto contribuiu para que as mesmas pudessem ser executadas por trabalhadores não qualificados e para o aumento da produtividade (HOPP; SPEARMAN, 1996). No entanto, a repetitividade do trabalho e a sua excessiva simplificação levaram à desmotivação do operário. A ênfase da abordagem de padronização proposta por Taylor na produtividade teve um efeito negativo na qualidade, levando à criação de um departamento nas empresas com a função específica de controle da qualidade (JURAN, 1992).

Com a evolução no nível de educação em muitos países, a premissa de Taylor de que a classe operária não era capaz de contribuir para planejar a execução da tarefa passou a não ter mais fundamento (JURAN, 1992). Além disso, conforme menciona Kondo (1991), em níveis de educação mais elevados, a possibilidade de aumentar ganhos financeiros através de melhor produtividade não é suficiente para motivar o trabalhador. São necessários outros tipos de incentivos, tais como envolver o trabalhador na concepção do trabalho e na definição de metas, conforme mencionado no tópico 2.6.2.

Juran (1992) observa que, apesar das críticas à abordagem de padronização proposta por Taylor e do aumento na concessão de participação da força de trabalho na tomada de decisão, muitas idéias da Administração Científica ainda permaneceram em uso em empresas americanas.

A criação de departamentos independentes de inspeção e, mais tarde, os departamentos de controle de qualidade constituídos de profissionais com formação para a função de controlar a qualidade é um exemplo. Ou seja, ainda que fossem treinados para executar sua tarefa, os operários muitas vezes não eram considerados capazes de cumprir a função de controlar (JURAN, 1992). O movimento da gestão da qualidade total buscou contrapor-se a esta visão, ampliando a responsabilidade pelo controle da qualidade a todos os departamentos da empresa (CAMPOS, 1992).

O STP também adota uma abordagem oposta a de Taylor no que diz respeito às relações do trabalhador com a padronização do trabalho. Treville e Antonakis (2005) afirmam que a perda da motivação diante da falta de autonomia para escolha do método de trabalho a ser empregado é compensada com a participação ativa do trabalhador na definição do método padronizado e na

sua melhoria. Os mesmos autores destacam que a própria padronização do trabalho traz benefícios que repercutem na motivação do operário. Além disso, Treville e Antonakis (2005) e Imai (1997) afirmam que a padronização do método de trabalho no STP favorece a facilitação do trabalho (disponibilidade de condições para execução do trabalho, equivalente ao que Imai denomina 4Ms) e esta, por sua vez, repercute positivamente na motivação do trabalhador.

Outro ponto importante que diferencia a abordagem da padronização no STP, refere-se à questão do controle ao longo do processo de produção. As diferenças constituem-se não apenas no ponto da linha de produção onde ocorre o controle, mas também em como e em quem o executa. Monden (1998) esclarece que o trabalho padronizado no STP inclui pontos específicos no processo de produção e procedimentos rotineiros em que o próprio operador realiza inspeções de qualidade e segurança.

O operador é auxiliado, ainda, por dispositivos à prova de falhas, denominados *poka-yoke*, que tem como objetivo realizar inspeção na fonte, a todo o momento, ou seja, inspeção 100% (SANTOS; POWELL, 1999). Conforme Ghinato (1996), esta concepção de controle diferencia-se da inspeção utilizada normalmente para detectar ou reduzir defeitos uma vez que visa a eliminar os defeitos (CQZD – controle de qualidade zero defeitos) e, conseqüentemente, a necessidade de realizar a inspeção. O Productivity Press Development Team (2002) destaca que, no STP, a padronização constitui-se em fonte de conhecimento para que o próprio operário contribua para o desenvolvimento de dispositivos *poka-yoke*, na medida em que é aumentada a sua capacidade de detectar problemas e de oferecer oportunidades para apresentar idéias de melhorias.

Monden (1998) aponta que, a padronização do trabalho no STP tem três objetivos: (a) garantir que os trabalhadores atinjam alta produtividade sem esforço excessivo, mas através da redução de movimentos desnecessários; (b) atingir o balanceamento por intermédio do cumprimento do conjunto de operações dentro do *takt-time*; e (c) permitir que a produção ocorra com a mínima quantidade de trabalho em progresso.

Conforme Antunes Junior (1998), a padronização no STP destaca-se pela contribuição para redução de quatro das sete perdas relacionadas por Ohno (1997)<sup>15</sup>: perdas por superprodução, por produção de produtos defeituosos, por movimentação e por espera. Embora

---

<sup>15</sup> As sete perdas relacionadas por Ohno são: perda por superprodução, perda por transporte, perda por processamento, perda por fabricação de produtos defeituosos, perda por movimentação, perda por espera, perda por estoque.

Antunes Junior (1998) não inclua a redução da perda por estoque, esta também é combatida através da padronização no STP, uma vez que se busca operar com uma quantidade mínima de trabalho em progresso, reduzindo assim, os estoques intermediários. Pela mesma razão, a perda por transporte é indiretamente combatida.

Os dois últimos objetivos citados por Monden (1998) indicam que a padronização no STP cumpre um papel na gestão da produção mais amplo do que simplesmente aumentar a produtividade do operário, conforme preconizava Taylor. Pode-se afirmar que a abordagem de padronização proposta por Taylor focava-se principalmente em melhorias na transformação, ao passo que, no STP, busca-se atender aos três aspectos mencionados anteriormente: transformação, fluxo e valor. Atende a transformação uma vez que busca eficiência do operário, eliminando movimentos desnecessários e distribuindo as operações entre os operadores de forma a cumprir o tempo de ciclo. Atende ao fluxo porque, a partir do estudo dos tempos e movimentos, treina os operários para manterem o ritmo de produção, reduzindo a variabilidade e, conseqüentemente, a espera do processo. Atende ao valor porque atrela o tempo de ciclo ao *takt-time*. Ou seja, a padronização constitui-se em importante ferramenta, adequada ao contexto de evolução histórica da gestão da produção apresentada no início deste capítulo.

Outro ponto a ser destacado, refere-se ao enfoque dado para a redução da incerteza pelas duas abordagens. Os objetivos citados por Monden (1998) indicam que no STP, a padronização conduzia à redução da variabilidade de caráter randômico, uma vez que buscava o balanceamento. No entanto, a ênfase na aprendizagem do operário no STP (SPEAR; BOWEN, 1999) visava à redução da variabilidade de caráter epistemológico e permitia que o balanceamento fosse atingido. Já, na abordagem de padronização proposta por Taylor, a ênfase estava na variabilidade de caráter randômico e a redução da variabilidade de caráter epistemológico não era delegada ao operário, mas sim aos gerentes.

A seguir, são apresentados os componentes que constituem o padrão, conforme a bibliografia, uma vez que o presente trabalho investiga as contribuições da prototipagem para a definição do padrão.

#### **2.6.4 Componentes do Padrão**

Kondo (1991) apresenta três componentes constituintes do padrão. São eles:

- (a) Metas ou objetivos a serem atingidos, como, por exemplo, especificações de qualidade a serem atendidas;

- (b) Restrições a serem cumpridas ao conduzir o trabalho, como, por exemplo, procedimentos que garantem a segurança dos trabalhadores ou a qualidade do produto; e
- (c) Métodos a serem empregados para execução do trabalho.

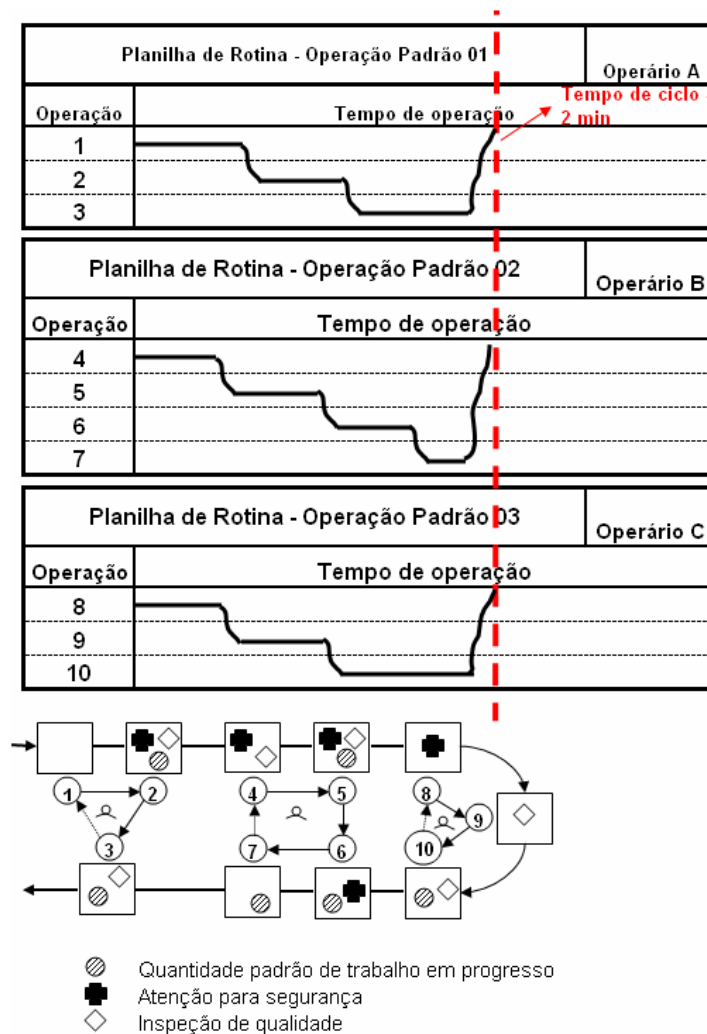
Monden (1998) apresenta como componentes do padrão, elementos que orientam a padronização no STP, tendo em vista os objetivos mencionados anteriormente de alta produtividade sem esforço excessivo, balanceamento das operações entre os operadores para atingir o *takt-time* e mínima quantidade de trabalho em progresso. Estes elementos são: (a) *takt-time*<sup>16</sup>; (b) rotina de operações padrão equivalente à seqüência de operações a serem cumpridas por cada operador dentro do tempo de ciclo; e (c) quantidade padrão de trabalho em progresso.

Monden (1998) observa que, além destes elementos básicos, devem constar na planilha do trabalho padronizado os pontos no processo nos quais devem ocorrer inspeções de qualidade e segurança. Os componentes do padrão apontados por Kondo (1991), possuem relação com os elementos apresentados por Monden (1998), na medida em que as metas a serem atingidas relacionam-se com o *takt-time* resultante da demanda do cliente, o conteúdo das inspeções de qualidade e segurança pode ser associado às restrições e a seqüência de operações a serem cumpridas dentro do tempo de ciclo com uma quantidade mínima de trabalho em progresso, ao método adotado.

A Figura 2.4 ilustra um exemplo da planilha do trabalho padronizado, constando as informações referentes aos elementos do padrão e os pontos do processo nos quais devem ocorrer inspeções de qualidade e segurança.

---

<sup>16</sup> Na verdade, Monden (1998) utiliza o termo tempo de ciclo. No entanto, visando a manter coerência com os conceitos apresentados no tópico 1.1 o termo tempo de ciclo foi substituído pelo termo *takt time*.



**Figura 2.4 – Planilha de operação padrão**  
Fonte: Monden (1998)

Os elementos do padrão sugeridos por Monden (1998) proporcionam um avanço no esclarecimento do que se constitui o componente método mencionado por Kondo (1991). No entanto, referem-se ao ambiente da manufatura.

Currie (1997) relaciona uma série de elementos necessários para especificar uma tarefa cujo processo de produção está sob intervenção, os quais têm como propósito delimitar as condições segundo as quais um determinado tempo padrão é válido. Estes elementos são: (a) descrição da atividade; (b) layout do posto de trabalho; (c) quantidades dos materiais necessários; (d) tipo e condições dos equipamentos, especificando épocas de troca e manutenção; (e) método empregado; (f) especificações de qualidade e momentos de inspeção; e (g) condições necessárias do ambiente onde será desenvolvida a tarefa.

Ballard e Tommelein (1999) também apresentam uma série de fatores a serem considerados quando se busca realizar uma intervenção no processo de produção com objetivo de atingir um fluxo contínuo. São eles:

- (a) Conteúdo do trabalho: relação de operações que constituem a atividade, incluindo transporte de materiais e ferramentas, armazenamento, necessidades de inspeção;
- (b) Desenho do método: os referidos autores não esclarecem o que deveria constar no desenho do método, da mesma forma que Currie (1977) não especifica que abrangência tem o elemento método empregado;
- (c) Operações de *set up*: operações de preparação para início do serviço e de desmobilização, tais como limpeza do posto de trabalho, retirada de materiais, montagem e desmontagem de andaimes. Embora estas operações façam parte do conteúdo do trabalho mencionado no primeiro item, as mesmas estão citadas separadamente, uma vez que são candidatas preferenciais a avaliações quando do redesenho do método;
- (d) Tamanho do lote mínimo de produção para a atividade: corresponde à quantidade de trabalho designada para a execução por uma equipe, sendo esta quantidade, normalmente, atrelada a partes do produto, por exemplo, cerâmica do banheiro, alvenaria do apartamento. Pode variar em função da necessidade de espaço;
- (e) Equipe mínima e equipamentos: número de operários para executar o lote mínimo de produção;
- (f) Capacidade de produção: velocidade de produção da equipe mínima para executar o lote mínimo. Os referidos autores recomendam que, além do valor médio, deve ser conhecida a variação da velocidade de produção. Esta variação é consequência de fatores diversos, entre os quais erros na execução, falhas no trabalho executado pela equipe antecedente ou em materiais fornecidos, diferenças na composição da equipe e efeito aprendizagem;
- (g) Espaço e acesso para a execução da tarefa e requisitos de proteção durante e após o término da tarefa: neste fator incluem-se o acesso de materiais e mão de obra para executar a tarefa, assim como, o uso do espaço interno para movimentação de operários e materiais, podendo requerer definição de um leiaute. Nos requisitos de proteção incluem-se não apenas necessidades de proteção à tarefa (por exemplo,

circulação de pessoas em áreas ainda não curadas), mas também preocupações com eventuais efeitos indesejados da tarefa no entorno, tais como, ruído e poeira;

- (h) Materiais empregados: inclui o tamanho dos lotes de entrega e a necessidade de espaço para armazenagem.

Como a intenção de Ballard e Tommelein (1999) é criar condições para que se possa atingir o fluxo contínuo de produção, esses autores consideram ainda as informações necessárias no nível das interfaces entre as atividades. São elas:

- (i) Recursos comuns a duas ou mais atividades; e
- (j) Quantidade de trabalho em progresso.

Destaca-se que os fatores mencionados por Currie (1997) e Ballard e Tommelein (1999) não são explicitamente citados como elementos constituintes do método. No entanto, foram considerados como referência inicial por serem apresentados pelos referidos autores como informações para especificar uma tarefa sob intervenção em um processo de melhoria.

Outra referência para a definição dos elementos que compõem o padrão é proveniente de um *check list* apresentado por Howell e Ballard (1999) para executar o *First Run Study (FRS)*. O *FRS*<sup>17</sup> consiste em um estudo detalhado do método de trabalho com base no primeiro ciclo de repetição (*first run*). Neste *check list* consta uma série de informações a serem discutidas ao longo da execução do *FRS*. São elas: seqüência de execução, partes a serem pré-fabricadas, equipamentos e ferramentas, composição da equipe, recursos compartilhados, estoques intermediários (trabalho em progresso) e procedimentos de segurança.

Observa-se que entre os fatores relacionados por Currie (1997), Ballard e Tommelein (1999) e Howell e Ballard (1999) para efetuar intervenções, estão incluídas informações relativas a equipamentos, materiais e mão de obra que, segundo Smaley (2007), concorrem juntamente com o método como *inputs* a serem disponibilizados para a estabilidade básica. Esta consideração levanta dúvidas quanto à inserção destes fatores como elementos do método.

Destaca-se que as relações de dependência entre os 4Ms citados por Smaley (2007) ocasionam que, mudanças, por exemplo, na seqüência de execução, supostamente considerada como método pelo referido autor, conduzam a um refinamento nas informações ou condições

---

<sup>17</sup> O *FRS* será descrito em maiores detalhes no terceiro capítulo, uma vez que é entendido nesta tese como um tipo de prototipagem para estudar o processo de produção.



para disponibilização dos demais *inputs*, tais como, definição do lote de entrega de materiais e espaço para armazenamento.

Os comentários de Howell e Ballard (1999) de que no início da tarefa nem todos os detalhes do método são conhecidos e que, ao longo da execução, há necessidade de ajustar a localização dos materiais, número e tipo de equipamentos e capacidade de produção da equipe indicam que o método deve abranger um refinamento das informações relativas aos demais *inputs* citados por Smaley (2007).

Tendo em vista a falta de definição clara do que abrange o método na literatura, nesta tese, optou-se por não restringir os elementos que o compõem, eliminando aqueles fatores associados a outros *inputs* para execução da tarefa citados na literatura da área de manufatura. O termo método é empregado como um conjunto de informações que especificam as condições para executar a tarefa.

Os fatores relacionados por Ballard e Tommelein (1999) têm especial importância no presente trabalho porque, assim como os elementos citados por Monden (1998), referem-se a um contexto em que aspectos relacionados ao fluxo e não apenas à transformação são considerados. Além disso, os elementos sugeridos por Ballard e Tommelein (1999) foram determinados para aplicação, especificamente, na construção civil.

A seguir, são apresentadas visões de autores com posições contrárias à definição de padrões excessivamente detalhados.

### **2.6.5 Críticas ao Detalhamento do Método de Trabalho**

Um questionamento frequentemente levantado refere-se à rigidez dos procedimentos para execução da tarefa, isto é, o nível de detalhamento do padrão. Spear e Bowen (1999) apontam que o trabalho padronizado no STP é altamente especificado em termos de resultados desejados, tempo, conteúdo do trabalho e seqüência. Os mesmos autores acrescentam que para entender o sucesso da Toyota é preciso desvendar o paradoxo entre a especificação rígida do trabalho e a criatividade e flexibilidade.

Spear e Bowen (1999) destacam que a especificação do trabalho no STP constitui-se em uma hipótese explícita da melhor prática, constantemente testada e desafiada por intermédio de métodos científicos. As alterações são feitas mediante o uso rigoroso de métodos de resolução de

problemas e as propostas testadas experimentalmente. Segundo os referidos autores, o maior benefício desta prática é a aprendizagem intensa dos funcionários da empresa.

Para Koskela (2001), esta intensa aprendizagem é a principal explicação para o paradoxo entre a especificação rígida e a criatividade e flexibilidade, na medida em que favorece a formação de uma estrutura modular que aceita modificações sem repercussões drásticas nas interfaces.

Contrapondo-se a esta idéia de especificação rígida, Kondo (1991) enfatiza que no que se refere aos três componentes do padrão, a meta deve ser claramente especificada e perseguida por aqueles que executam a tarefa, as restrições devem ser rigorosamente obedecidas, porém, o método de trabalho deve ser flexível. Kondo prossegue argumentando que as restrições devem sofrer uma avaliação crítica e, sempre que possível contornadas de forma a eliminá-las, permitindo, assim, um método de trabalho flexível. Segundo esse autor, um método de trabalho rígido prejudica a criatividade do operário e o senso de propriedade, favorecendo desculpas quando da ocorrência de falhas.

O posicionamento de Kondo (1991) não é contrário à padronização, mas o mesmo afirma que dificilmente um único método de trabalho se constituirá na melhor forma de execução da tarefa para todo e qualquer operário. Nesse sentido, Kondo sugere que devem existir dois tipos de manuais para orientar os procedimentos de execução: um apropriado para o treinamento de operários iniciantes (aprendizes), no qual devem constar apenas os procedimentos básicos, e outro no qual são descritos métodos e técnicas para operários experientes. Kondo (1991) destaca que, no treinamento para operários aprendizes, deve ficar claro que, uma vez dominados aqueles procedimentos básicos, o operário deve procurar métodos apropriados às suas características (psicológicas e temperamentais).

Nesta mesma linha, o Productivity Press Development Team (2002) recomenda que apenas os procedimentos a serem cumpridos por todos devem constar nos manuais, ao contrário daqueles relacionados à preferência, que não devem ser incluídos. Esta medida visa a facilitar o processo de aprendizagem e de verificação da adesão ao método padronizado.

Os argumentos de Spear e Bowen (1999) e Treville e Antonakis (2005) para combater os inconvenientes da rigidez do trabalho padronizado são a intensa participação dos operários na definição dos procedimentos e na sua melhoria e a crescente aprendizagem proporcionada pela aplicação de métodos e ferramentas para solução de problemas. Treville e Antonakis (2005)

explicam ainda que, a criatividade e a flexibilidade são estimuladas pela presença de quantidade escassa de recursos.

Spear e Bowen (1999) destacam que no STP, os operários são constantemente auto-desafiados por ideais comuns. Os mesmos autores acrescentam que a noção de ideal é altamente difundida na Toyota e tem importância fundamental para entender o STP. Explicam que o ideal não significa algo abstrato, mas bastante concreto e alinhado com os objetivos da empresa. Para um operário da Toyota, a sua produção, ou a do grupo ou da máquina ideal consiste em: (a) isenção total de defeitos; (b) lote unitário; (c) entrega imediata; (d) inexistência de desperdício de material, mão de obra, energia ou outro recurso, inclusive, custos associados a estoques; e (e) um ambiente de trabalho seguro sob o ponto de vista psicológico, emocional e profissional para todo e qualquer empregado.

Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) também destacam a importância da intensificação da aprendizagem proporcionada pela aplicação de métodos para solução de problemas. No entanto, os autores entendem que justamente esta capacidade de resolver problemas à medida que os mesmos aparecem deve ser valorizada em detrimento aos planos detalhados, principalmente em situações novas em que o grau de incerteza é elevado.

Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) sugerem a aplicação de métodos de resolução de problemas dentro de atividades de experimentação que ocorrem antes e depois do processo de implementação de uma nova tecnologia. As atividades de experimentação citadas pelos autores e de que forma as mesmas devem estar concatenadas serão discutidos no próximo capítulo. Neste momento, interessa destacar que os autores sugerem um plano regido por diretrizes gerais, certa folga de recursos e uma equipe com intenso conhecimento e capaz de reagir a contingências emergentes de um ambiente incerto a partir da experimentação.

A justificativa dos autores para esta sugestão baseia-se no fato de que há um elevado grau de incerteza proveniente de um grande número de contingências e possibilidades de planos de ação. Portanto, o plano de ação não deve conter um conjunto de procedimentos para cada contingência, mas sim uma estrutura para orientar a detecção e resolução de problemas, ou seja, o plano deve apresentar uma configuração investigatória e não prescritiva.

Portanto, Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) e Spear e Bowen (1999) concordam no que tange a geração proativa de conhecimento para embasar intervenções. Porém, suas idéias divergem no que diz respeito à configuração do plano de ação uma vez que, tratam de contextos com diferentes graus de incerteza.

De Meyer, Loch e Pich (2002) identificam diferentes graus de incerteza e distintas formas de atuação para cada contexto. As classes de incerteza determinadas pelos autores são:

- (a) Variações: custo e tempo variam randomicamente, porém dentro de um intervalo previsto. Os objetivos e sequência das tarefas são conhecidos e pequenas variações no tempo são previstas e monitoradas;
- (b) Incertezas previstas: eventos previstos e entendidos com base em situações do passado, porém, que não pode se assegurar que ocorrerão;
- (c) Incertezas imprevistas: como o nome sugere, constituem-se em eventos não previstos durante o planejamento. Pode resultar da combinação de eventos individualmente previstos, porém desprezados;
- (d) Caos: ao contrário dos empreendimentos sujeitos a incertezas imprevistas que iniciam com objetivos conhecidos, em empreendimentos caóticos esta situação não ocorre. Nestes casos, há necessidade de continuamente se redefinir premissas básicas e alternativas de atuação com base no aprendizado incremental ocorrido ao longo do empreendimento.

De Meyer, Loch e Pich (2002) recomendam formas de gestão baseadas no planejamento para atuar em ambientes cujo grau de incerteza é classificado como variações ou incertezas previstas. Já, no caso das incertezas imprevistas e do caos, as formas de gestão baseadas em planejamento não são apropriadas, sendo necessárias alternativas de atuação que privilegiem a aprendizagem intensa. Neste caso, os autores sugerem recursos, tais como a prototipagem rápida, dada sua agilidade para experimentar novas idéias, coletar informações e consolidar a aprendizagem.

Vera e Crossan (2005) discutem a respeito das situações em que a aderência a regras é válida e casos em que, ao contrário, a improvisação é benéfica e recomendada. Os autores relatam que os procedimentos padronizados resultam de um aprendizado organizacional que se torna institucionalizado e são válidos em situações rotineiras. Em contraste, a improvisação é aplicada em situações ambíguas e não rotineiras em que uma série de procedimentos padronizados e regras se tornam inflexíveis, não aplicáveis e prejudicam a aprendizagem.

Vera e Crossan (2005) afirmam, ainda, que a habilidade de improvisar pode ser aprendida por membros da organização, não se tratando de um talento nato dos indivíduos. Por

esta razão, os autores destacam a importância de entender no que exatamente consiste o ato de improvisar e que fatores influenciam esta habilidade.

Como fatores com repercussão na capacidade de improvisar, Vera e Crossan (2005) citam: o domínio da tarefa; espírito de equipe; informação e comunicação em tempo real e cultura voltada à experimentação.

Para Vera e Crossan (2005), o espírito de equipe depende de aspectos cognitivos e afetivos. Os aspectos cognitivos estão associados ao entendimento e compartilhamento de um objetivo comum e os aspectos afetivos referem-se a confiança, respeito e cooperação. A cultura voltada à experimentação implica em atitudes de anuência com relação a novas idéias, disposição para discuti-las, testá-las e tolerância a erros.

## **2.7 A PADRONIZAÇÃO E A FUNÇÃO GERENCIAMENTO**

### **2.7.1 A Função Gerenciamento**

Koskela e Howell (2002) mencionam que, da mesma forma que o paradigma de produção focado na transformação, mostrou-se inadequado para representação do sistema de produção e estudos resultaram na proposição da teoria TFV, faz-se necessário, também, revisar os fundamentos vigentes da função gerenciamento, essencialmente, focada no planejamento.

Johnston e Brennan (1996) criticam este enfoque da função gerenciamento baseado na modelagem do mundo real a partir da lógica, do comportamento linear, da causalidade entre ações e resultados, da simplificação na representação dos fatores externos. Esses autores também criticam o fato dos planos serem formulados por gerentes sem levar em conta o *status* da situação e adotando um sistema de comunicação unilateral.

Koskela (2001) buscou reinterpretar a função gerenciamento a partir da contribuição de diferentes autores. Baseou-se na proposta de Johnston e Brennan (1996) do que deve abranger a função gerenciamento, no entendimento de Shingo (1996b) a respeito das atividades de gestão (planejamento, implementação, controle e monitoramento) e, na explicação de Spear e Bowen (1999) para o sucesso do STP em termos de gestão.

Como resultado, Koskela (2001) e Koskela e Howell (2002) propõem uma ampliação da função gerenciamento, abrangendo não apenas a sub-função planejamento, mas também as seguintes sub-funções:

- (a) Organização (*management as organizing*) - atividades voltadas à garantia de condições físicas, políticas e culturais para a realização das ações (JOHNSTON; BRENNAN, 1996). Segundo Koskela e Howell (2002), inclui a organização da tarefa, isto é, a estruturação do ambiente onde a mesma se desenvolve para que o padrão definido no planejamento possa ser cumprido;
- (b) Coordenação (*management as adhering, management as communication and commitment*) - Koskela (2001) utilizou o termo gerenciamento enquanto aderência (*management as adhering*) para descrever a interpretação de Shingo (1966b) de que as atividades de gestão devem envolver ações conjuntas de gerentes e trabalhadores no sentido de promover a instrução e motivação para que a execução ocorra de acordo com o planejado. Posteriormente, Koskela e Howell (2002) utilizaram o termo gerenciamento enquanto comunicação e comprometimento (*management as communication and commitment*) para englobar a perspectiva da linguagem-ação proposta por Winograd e Flores (1986)<sup>18</sup> *apud* Koskela e Howell (2002). Esta perspectiva da função gerenciamento entende que a comunicação deve ocorrer nos dois sentidos entre gerência e produção, contrastando com o enfoque convencional da função gerenciamento criticado por Johnston e Brennan (1996) em que comunicação é unilateral, ou seja, o gerente define o plano e comunica à produção que o executa. Koskela e Howell (2002) mencionam que o comprometimento é estabelecido a partir desta comunicação mútua e do entendimento de que os planos acordados constituem-se em promessas de cumprimento.
- (c) Aprendizagem – preconiza que a atividade de controle deve ser orientada por uma abordagem científica, buscando o entendimento das causas de desvios em relação aos planos e atuando no combate às mesmas. Este enfoque se opõe à abordagem convencional da função gerenciamento em que o controle segue a lógica de um termostato, desprezando o aprofundamento no entendimento das causas do desvio.

Abdelhamid (2004) e Bertelsen e Koskela (2005) observam que estas abordagens da função gerenciamento se encontram em estágio inicial de investigação científica. No entanto, conforme mencionam Bertelsen e Koskela (2005), as abordagens que valorizam a aprendizagem

---

<sup>18</sup> Winograd, T.; Flores, F. **Understanding computers and cognition: a new foundation for design**. Boston: Addison-Wesley, 1986.

e a cooperação<sup>19</sup> representam um avanço em relação à visão convencional, especialmente em ambientes de alta incerteza e complexidade como é o caso da construção civil.

A seguir é discutida a inserção da padronização, como uma atividade de gestão, dentro deste novo enfoque da função gerenciamento.

### **2.7.2 A Inserção da Padronização na Nova Abordagem da Função Gerenciamento**

Imai (1997) entende que, a definição e implementação de padrões, isto é, a padronização, é uma importante atividade de gestão. O mesmo autor declara: “o sucesso na gestão se resume a um preceito – estabelecer e melhorar padrões”. Desta forma, faz sentido discutir os enfoques da padronização apresentados anteriormente à luz das novas abordagens de gerenciamento.

A definição de padrões é intrinsecamente uma atividade de planejamento, uma vez que implica preestabelecer um conjunto de regras que fornecem clara expectativa a respeito do desempenho (IMAI, 1997; SHINGO, 1996b).

A padronização também propicia que a função organização aflore, na medida em que oferece condições para a gestão dos recursos mão de obra, informação, equipamentos e materiais. Imai (1997) menciona “o gerenciamento eficiente de recursos requer padronização”. Treville e Antonakis (2005) reforçam esta constatação quando afirmam que a padronização favorece a facilitação do trabalho porque remove obstáculos que inibem o desempenho do trabalhador e a provisão de recursos, equipamentos e treinamentos para que o trabalho possa ser bem executado.

Conforme discutido anteriormente, a nova abordagem adotada na padronização pressupõe a participação ativa dos trabalhadores, o que, segundo Treville e Antonakis (2005), contribui para o sentimento de propriedade em relação ao método prescrito e, conseqüentemente, para o comprometimento e para a motivação para aderir ao mesmo.

Finalmente, conforme justificado no tópico 2.6.5, uma importante contribuição da padronização é a aprendizagem da equipe.

---

<sup>19</sup> Bertelsen e Koskela (2005) utilizam o termo gerenciamento através da cooperação (*management as cooperation*) ao passo que em publicação anterior (Koskela e Howell, 2002), os termos adotados foram comunicação e comprometimento. Entende-se que o uso de termos, aparentemente correlacionados, porém sem uma explicação clara das correlações, é fruto do estágio inicial da pesquisa. Em sua tese de doutorado Isatto (2005) se aprofunda nestas relações sociais presentes na função coordenação do gerenciamento.

### **3. PROTOTIPAGEM**

---

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Neste capítulo é analisada a natureza da atividade de prototipagem e diretrizes e requisitos que orientam sua aplicação. Busca-se obter contribuições na bibliografia para orientar a realização de prototipagem para a padronização dos processos de produção na construção civil.

Inicialmente, procura-se caracterizar a prototipagem, apresentando a definição de protótipos, os benefícios da utilização deste recurso e as tecnologias empregadas para a sua aplicação. A partir da definição de protótipos e da descrição das possibilidades de uso ao longo das etapas de desenvolvimento do produto, discute-se o escopo da atividade de prototipagem. Em seguida, são descritos os procedimentos para aplicação da prototipagem, incluindo as etapas do processo e as diretrizes citadas na literatura.

#### **3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE DE PROTOTIPAGEM**

##### **3.2.1 Definição de Prototipagem**

A palavra protótipo é derivada do grego *prototypon* cujo significado é primeira forma (GRIMM, 2004) ou o primeiro produto produzido (FLOYD, 1984). Esta definição literal considera que um protótipo implica a pré-produção completa do produto.

Ulrich e Eppinger (2000) descrevem protótipo como sendo uma aproximação do produto ou de parte deste. Esta definição assume que a representação de apenas parte do produto que seja de interesse da equipe de projetistas pode ser entendida como um protótipo. Estes autores complementam que podem ser empregadas formas diversas de representação, desde esboços, modelos matemáticos apoiando simuladores, até a pré-produção completa do produto. Desta forma, Ulrich e Eppinger (2000) ampliam o entendimento do que consiste um protótipo em relação à definição literal da palavra.

Por conseguinte, prototipagem é o processo de desenvolvimento desta aproximação do produto. Segundo Beynon-Davies, Tudhope e Mackay (1999), uma importante característica da atividade prototipagem é sua natureza experimental, envolvendo um ciclo repetitivo de tentativas que incluem produção do protótipo, avaliação e correção até que as expectativas do cliente sejam satisfeitas.



Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) definem prototipagem como o ato de colocar em prática a nova tecnologia em pequena escala e em ambiente controlado. Segundo os mesmos autores, a prototipagem tem o papel de reduzir a incerteza decorrente da implementação de novas tecnologias, podendo ser utilizada em conjunto com outros recursos que promovam a aprendizagem.

Em suma, a prototipagem pode ser definida como um exercício de aproximação do objeto em estudo (ULRICH; EPPINGER, 2000), cujo principal propósito é a redução de riscos e incerteza (GUTIERREZ, 1993; REINERTSEN, 1997; PATTERSON, 1999; ULRICH; EPPINGER, 2000; THOMKE, 2001; OTTO; WOOD, 2001; FAITHFULL; BALL; JONES, 2001), perseguida através de ciclos repetitivos de experimentação, envolvendo, tentativas, avaliações e correções até que o objetivo desejado seja atingido (BEYNON-DAVIES; TUDHOPE; MACKAY, 1999; BALLARD, 2000).

### **3.2.2 Classificação dos Protótipos**

Ulrich e Eppinger (2000) classificam os protótipos em físicos e analíticos, sendo que os primeiros constituem-se em objetos, ou seja, elementos tangíveis criados para aproximação do produto, enquanto que os analíticos caracterizam-se por representações intangíveis, normalmente modelos matemáticos. Exemplos de modelos analíticos são simulações através de programas computacionais e modelos tridimensionais (3D) assistidos por *softwares* da área de projeto. Ainda, segundo os mesmos autores, o modelo em 3D de um produto completo é denominado protótipo virtual, protótipo digital ou ainda *mock up* digital.

Uma segunda dimensão adotada por Ulrich e Eppinger (2000) para classificação dos protótipos diz respeito ao grau de abrangência dos atributos do produto contemplados no protótipo e está associado à finalidade da investigação. Os protótipos são ditos compreensivos quando incluem grande parte dos atributos do produto, ou mesmo todos eles, apresentando-se como uma versão operacional deste - corresponde ao entendimento literal da palavra protótipo. Os protótipos classificados como focados abrangem um ou poucos atributos do produto e tem como finalidade investigar detalhadamente os aspectos contemplados.

Outra variação na classificação de protótipos refere-se à escala adotada para a construção de protótipos físicos. Faithfull, Ball e Jones (2001) citam a possibilidade de adotar protótipos em escala real, em escala reduzida ou ainda, em escala ampliada. Estes autores

descrevem que esta última opção, normalmente, é adotada quando se deseja estudar um determinado detalhe de forma aprofundada, ou seja, em protótipos focados.

Ulrich e Eppinger (2000) acrescentam que, com o objetivo de acelerar o tempo de resposta da investigação, é comum utilizar simultaneamente mais de um protótipo focado para estudar o desempenho global do produto, sendo que, em geral, um deles analisa a aparência do produto e outro(s) o aspecto operacional. Os mesmos autores mencionam que os protótipos focados podem ser físicos ou analíticos, enquanto os protótipos compreensivos normalmente são físicos.

Uma vez que um protótipo consome recursos financeiros e tempo da etapa de desenvolvimento do produto (GRIMM, 2004), é natural que se questione o porquê do seu uso e que tecnologia adotar, uma vez que normalmente existem várias opções.

### **3.2.3 Prototipagem no Processo de Desenvolvimento do Produto**

Clark, Chew e Fujimoto (1992) destacam que o desenvolvimento de um produto é um processo iterativo de sucessivos refinamentos: inicia na etapa de concepção, em que objetivos globais (mercado alvo, intervalo de variação do preço, clientes e relações com outros produtos) são estabelecidos, evoluindo para um estágio em que se busca um detalhamento do produto e da engenharia do processo e, finalmente, para produção-piloto, produção comercial, vendas e uso pelo cliente.

Segundo Clark, Chew e Fujimoto (1992) procedimentos estruturados voltados a experimentar e testar diferentes alternativas podem ser utilizados por engenheiros e projetistas ao longo das etapas de concepção do produto e da produção com o objetivo de cumprir metas associadas à redução do tempo de atravessamento e do custo e à melhoria da qualidade do produto. Os mesmos autores descrevem os principais passos envolvidos na realização destes procedimentos: estruturação do problema e levantamento de alternativas, definição de um modelo para avaliá-las, teste das alternativas e avaliação dos resultados.

Nas etapas de concepção e detalhamento do produto e da engenharia do processo são, normalmente, produzidos protótipos iniciais a partir de esboços, de desenhos do produto em 3D e do uso da prototipagem rápida. As principais tecnologias disponíveis para este tipo de prototipagem estão apresentadas na seção 3.2.4.

Grimm (2004) destaca como benefício do emprego de protótipos, a melhoria na veiculação de informações entre agentes envolvidos no desenvolvimento do produto, entre os quais clientes, investidores, diretores, projetistas, fornecedores e pessoal de produção. Segundo o mesmo autor, entre as informações veiculadas, incluem-se falhas e erros que possam vir a existir no produto.

Ulrich e Eppinger (2000) citam, além da comunicação, outros três propósitos para o emprego de protótipos: a aprendizagem, a integração e definição de marcos (*milestones*) ao longo do desenvolvimento do produto. Os referidos autores apontam que o propósito do protótipo constitui-se na aprendizagem, quando se busca responder a questões do tipo: este método dará o resultado esperado? Como atingir as necessidades do cliente? Neste caso, o protótipo é uma ferramenta de investigação e tem o propósito de auxiliar no entendimento do processo de desenvolvimento de um determinado produto ou do seu comportamento.

Quando o propósito do protótipo é a integração, busca-se assegurar que os componentes e subsistemas comportem-se de forma integrada tendo em vista a finalidade do produto final (ULRICH; EPPINGER, 2000). Neste caso, persegue-se a interface facilitada entre componentes, ao longo da produção e enquanto produto final, garantindo que suas funções não sejam comprometidas.

Já, protótipo cuja finalidade é estabelecer marcos (*milestones*) ao longo das etapas de desenvolvimento de produto vincula os resultados da prototipagem aos avanços no desenvolvimento do produto (ULRICH; EPPINGER, 2000). Ou seja, o protótipo é utilizado para verificar se o produto atingiu determinado grau de funcionalidade e, a partir dos resultados, autoriza ou veta a continuidade no seu desenvolvimento.

No entanto, o que Ulrich e Eppinger (2000) mencionam como princípios da prototipagem, estão mais associados a benefícios do que propriamente princípios e indicam que o propósito primordial do emprego de protótipos é a redução do risco, da incerteza e de prazos na etapa de desenvolvimento do produto. Os princípios relacionados pelos autores são:

- Protótipos físicos são necessários para detectar fenômenos não antecipados pelo protótipo analítico;
- Um protótipo pode reduzir os riscos associados ao custo de iterações. Os referidos autores mencionam que “produtos sujeitos ao risco e incerteza, decorrentes de fatores,

tais como, elevado custo de falhas e novas tecnologias, são beneficiados pelo uso de protótipos”;

- O uso de um protótipo, ainda que simples, pode resultar em redução no tempo de execução da atividade subsequente;
- O emprego de um protótipo pode possibilitar que atividades executadas sequencialmente sejam executadas em paralelo.

Observa-se que os propósitos (comunicação, aprendizagem, integração e definição de marcos) citados para justificar o uso de protótipos constituem-se em meios facilitados pelo emprego de protótipos para atingir a redução de riscos, incertezas e prazos.

Outros autores, entre eles Reason (1990), Gutierrez (1993), Reinertsen (1997), Patterson (1999), Thomke (2001) e Faithfull, Ball e Jones (2001) confirmam explicitamente a contribuição da prototipagem para a redução de riscos e incerteza. As situações declaradas por Beynon-Davies, Tudhope, Mackay (1999) como apropriadas para aplicação da prototipagem na área de sistemas de informação são aquelas em que o desenvolvimento se dá *on-line*, quando o produto desenvolvido é novo e sempre que as expectativas e requisitos do usuário não estão claros. Ou seja, estas situações também estão relacionadas à presença do risco e da incerteza.

Reason (1990), Reinertsen (1997), Patterson (1999) e Thomke (2001) explicam, inclusive, as relações entre os erros e falhas citados por Grimm (2004) e a existência do risco e da incerteza. Reason (1990), Reinertsen (1997) e Patterson (1999) afirmam que os erros e as falhas induzidas pelo desconhecimento expõem as pessoas ao risco.

Reinertsen (1997) e Thomke (2001) diferenciam a incerteza gerada por falhas daquela gerada por erros. A primeira consiste em um desvio daquilo que se espera e é resultado de fatos desconhecidos, enquanto que a segunda é decorrente de fatos já conhecidos e previstos, porém não considerados, ou por esquecimento ou pela não aprendizagem quando da ocorrência de uma falha. Os mesmos autores acrescentam que a incerteza decorrente de falhas tem um maior potencial de gerar conhecimento e, tendo em vista que a prototipagem consome recursos financeiros e tempo de dedicação da equipe, são nestes casos que a prototipagem encontra maior aplicação.

Otto e Wood (2001) destacam, além dos ganhos em termos de custo e prazos decorrentes da detecção antecipada de problemas e da simultaneidade na execução das atividades, os seguintes benefícios:

- Melhor utilização de recursos, uma vez que a prototipagem desvenda problemas antecipadamente e permite estabelecer prioridades para solucioná-los;
- Maior flexibilidade na escolha do produto, na medida em que a modelagem permite explorar grande número de alternativas.

### 3.2.4 Tecnologias para Aplicação da Prototipagem

Ulrich e Eppinger (2000) destacam como principais tecnologias empregadas para a prototipagem, os modelos tridimensionais (3D) produzidos por *softwares* de projeto (CAD) e a prototipagem rápida, esta última empregada para a produção de protótipos físicos.

No caso dos protótipos analíticos, os modelos em 3D, além de propiciarem a visualização do produto, registram suas propriedades físicas como, por exemplo, volume e massa e permitem a detecção de interferências geométricas entre componentes (ULRICH; EPPINGER, 2000).

Tseng, Jiao e Su (1998) relatam que recursos de *software* e *hardware* podem ser utilizados em conjunto com a modelagem em 3D de um produto (protótipo virtual), permitindo que o projetista ou usuário possa estar sensorialmente (visão, tato e som) imerso no sistema em desenvolvimento. Em uma etapa seguinte, a combinação da prototipagem virtual, fornecendo parâmetros do produto, com *softwares* de simulação proporciona oportunidade de análise dos processos de produção e de gestão. Aspectos como, volume de produção, utilização da capacidade, tamanho de *buffers*, custos e programação podem ser analisados nas simulações.

No que se refere aos protótipos físicos, a tecnologia denominada prototipagem rápida (*rapid prototyping*) tem sido, desde a década de 80, objeto de várias pesquisas na área de desenvolvimento de produto. Da mesma forma que os protótipos analíticos, a prototipagem rápida permite reduzir prazos e custos na etapa de desenvolvimento de produto, apresentando ainda as vantagens do protótipo físico (ULRICH; EPPINGER, 2000).

Segundo Grimm (2004), não existe um consenso com relação à definição da tecnologia denominada prototipagem rápida. Esse autor explica que o termo foi originalmente designado para referenciar tecnologias que produzem protótipos físicos por adição de sucessivas camadas de material, desenhadas a partir de modelos 3D desenvolvidos em CAD. Oliveira (2001) descreve a prototipagem rápida como a adição de finas camadas de material definidas a partir do

fatiamiento eletrônico do modelo CAD. Oliveira (2001) e Grimm (2004) apresentam uma série de sistemas de prototipagem rápida que utilizam o processo por adição de camadas.

No entanto, prototipagem rápida tornou-se um termo genérico para designar todo processo rápido<sup>20</sup> de geração de protótipos físicos, incluindo não apenas os processos por adição, mas também por subtração e por formação (GRIMM, 2004). Nos processos por subtração, a moldagem ocorre pela “remoção de material a partir de um bloco, utilizando ferramentas de desbaste que se movimentam em uma ou mais dimensões, resultando em um protótipo de um produto completo ou de suas partes. As fresadoras 3D são os equipamentos mais comuns nesta classe de tecnologias de prototipagem rápida” (SANTOS; FRESSATO FILHO, 2005). Diversos tipos de materiais podem ser utilizados no processo subtrativo, entre eles, cera, parafina e madeira.

Os processos por adição e subtração, normalmente, utilizam máquinas e *softwares* de alta tecnologia (*high tech*) e apresentam custos elevados (SANTOS; FRESSATO FILHO, 2005). No entanto, Grimm (2004) menciona que existem empresas prestadoras de serviços que oferecem os benefícios desta tecnologia, evitando a necessidade de altos investimentos com máquinas e *softwares*.

Além disso, existem também os processos de prototipagem rápida de baixa tecnologia (*low tech*), como por exemplo, massa de modelar, dobras de papelão ondulado e espuma (SANTOS; FRESSATO FILHO, 2005).

Segundo Grimm (2004), os critérios para escolha da tecnologia de prototipagem a ser empregada devem levar em conta aspectos técnicos, custo e tempo de resposta. Os aspectos técnicos envolvem a adequação do protótipo para o seu propósito. O mesmo autor comenta que nem sempre a análise destes três fatores é fácil, sendo necessário um conhecimento aprofundado das tecnologias disponíveis no mercado.

É importante esclarecer que em função do grau de incerteza da situação, pode ser necessário utilizar mais de um protótipo e até mesmo mais de uma tecnologia. Diversos autores (ROSENTHAL; TATIKONDA, 1992; BROWN; EISENHARDT, 1995; REINERTSEN, 1997; PATTERSON, 1999; ULRICH; EPPINGER, 2000; HOLMBERG, 2000; FAITHFULL; BALL; JONES, 2001) sugerem o uso precoce e concatenado dos recursos de prototipagem ao longo das

---

<sup>20</sup> Como processo rápido de geração de protótipos físicos, Grimm (2004) abrange desde aqueles que duram um período (noite, por exemplo) até aqueles que duram uma semana.

etapas de desenvolvimento do produto. A seguir, são apresentadas as possibilidades de aplicação da prototipagem nas diversas etapas de desenvolvimento de produto descritas na literatura.

### 3.2.5 Aplicação da Prototipagem na Etapa de Produção

Além da prototipagem focada no produto, existem também diversas abordagens de prototipagem que são mais focadas no processo de produção. Segundo Clark, Chew e Fujimoto (1992), a prática de experimentar e testar alternativas de sistemas de produção pode ser realizada não apenas por intermédio de uma produção-piloto, mas também no início da fase de produção propriamente dita, quando esta inicia com ritmo lento e gradualmente evolui para o ritmo desejado da linha de produção.

Clark, Chew e Fujimoto (1992) definem produção-piloto (*pilot run*) como a atividade de ensaiar a produção de um novo produto em uma linha de montagem fictícia fora ou dentro da fábrica ou ainda, na própria linha de montagem comercial. Ou seja, a produção-piloto constitui-se na experimentação da produção de um novo produto e visa ao treinamento dos operários e à identificação de problemas não solucionados nas etapas anteriores de desenvolvimento do produto.

Clark, Chew e Fujimoto (1992) esclarecem que quando a produção-piloto ocorre dentro da linha de montagem comercial, assegura-se maior grau de fidelidade ao ensaio da produção, uma vez que este ocorre no ambiente real. Em contrapartida, implica certa interferência no tempo de atravessamento dos produtos existentes na fábrica, tendo em vista a baixa velocidade de produção do produto-piloto.

Estudo piloto constitui-se em outro termo encontrado na literatura e relacionado ao ensaio de uma ação que envolve uma inovação ou uma mudança (TURNER, 2005). Para Turner, um estudo piloto é uma atividade conduzida com o propósito de melhorar o entendimento de uma mudança ou inovação, reduzindo o risco e a incerteza associada à nova situação.

Turner (2005) menciona que não há um consenso com relação à diferença entre protótipo e estudo piloto. Porém, para Field e Keller<sup>21</sup> (1998) e Hayes, Wheelwright e Clark<sup>22</sup> (1988) *apud* Turner (2005), a construção do protótipo precede o estudo piloto, sendo que o

<sup>21</sup> FIELD, M.; KELLER, L. **Project management**. London, UK: International Thompson Business Press, 1998 *apud* TURNER, R. J. The role of pilot studies in reducing risk on projects and programmes. 2005.

<sup>22</sup> HAYES, R.H.; WHEELWRIGHT, S.C.; CLARK, K.B. **Dynamic manufacturing**: creating the learning organization. New York, NY: Free Press, 1988 *apud* TURNER, R. J. The role of pilot studies in reducing risk on projects and programmes. 2005.

primeiro é construído na fase de análise da viabilidade da mudança ou inovação e o segundo é conduzido na fase que antecede a operação, quando a inovação é submetida ao ambiente de uso, gerando informações para reduzir o risco na etapa de operação. Ou seja, o entendimento de Field e Keller (1998) e Hayes, Wheelwright e Clark (1988) *apud* Turner (2005) no que diz respeito ao propósito e à forma de condução de um estudo piloto parece estar em sintonia com o que Clark, Chew e Fujimoto (1995) nomeiam produção-piloto. Entretanto, não está devidamente esclarecido se um estudo piloto tem a mesma abrangência da produção-piloto conceituada por Clark, Chew e Fujimoto (1995) e, portanto, estende-se até a operação da inovação no seu ambiente verdadeiro, ou se está restrito a um ensaio da operação em um ambiente fictício.

Clark, Chew e Fujimoto (1992) mencionam que, ao iniciar a fabricação comercial do produto final, há ainda oportunidade de prosseguir com o processo de experimentação. Os mesmos autores definem o termo *ramp up* como o aumento gradual na velocidade de produção até que a linha de montagem atinja toda sua capacidade. Os autores explicam que a melhoria na capacidade de produção ocorre por intermédio da prática de rastrear problemas não detectados nas etapas experimentais precedentes. Uma vez que a velocidade de produção desejada precisa ser atingida rapidamente, Clark, Chew e Fujimoto acrescentam que a etapa de *ramp up* impõe um desafio adicional em termos de experimentação, exigindo agilidade na identificação e resolução de problemas.

Finalmente, Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) utilizam o termo *on-line learning* para designar a aprendizagem ocorrida na linha de produção, a partir da avaliação de uma nova tecnologia em operação. Estes autores citam outras possibilidades de aprendizagem, normalmente, utilizadas em etapas anteriores ao acompanhamento da produção. São elas:

- Aprendizagem a partir da experiência de outras pessoas;
- Simulação: aprendizagem a partir da construção de modelos artificiais da nova tecnologia e de experimentá-los;
- Prototipagem: aprendizagem a partir da construção e operação da nova tecnologia em pequena escala e em um ambiente controlado;

Em síntese, Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) entendem que *on-line learning* consiste em um método residual de depuração de problemas ainda não detectados pelas oportunidades anteriores de aprendizagem e que podem prejudicar o funcionamento normal ou esperado da nova tecnologia. As alternativas citadas por Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991)



para a aprendizagem promovida pela experimentação no ambiente real não se restringem a um novo produto em uso, mas também, a um processo colocado em prática pela primeira vez. Ou seja, o que Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) denominam *on-line learning* pode ser considerado similar ao termo *ramp up* adotado por Clark, Chew e Fujimoto (1992).

Em suma, observa-se que a literatura faz uso de diferentes terminologias para as atividades de experimentação aplicadas na etapa de produção, tais como, estudo piloto, produção-piloto, *ramp up* ou *on-line learning*.

É importante esclarecer que, apesar do *ramp up* e *on-line learning* resultarem em protótipos físicos, diferem-se dos protótipos físicos tipicamente produzidos na fase de concepção do produto, na medida em que se utilizam do próprio processo de produção do produto final para investigação.

Outro ponto a ser destacado refere-se ao aproveitamento do produto gerado nas experimentações efetuadas ao longo das etapas de desenvolvimento do produto. Beynon-Davies, Tudhope e Mackay (1999) comentam que existe uma discussão a respeito do aproveitamento de protótipos como produtos finais, ainda que exista grande fidelidade entre ambos. Já, os protótipos físicos gerados pelo *ramp up* e *on-line learning* constituem-se no próprio produto final.

Outra peculiaridade do *ramp up* e *on-line learning* em relação aos demais protótipos físicos refere-se à fidelidade na representação do ambiente em que o produto resultante está inserido. Embora Clark, Chew e Fujimoto (1992) mencionem a possibilidade de inserção da produção-piloto na linha de montagem comercial, destaca-se que o produto-piloto não está sujeito à mesma pressão em termos de prazos e qualidade comparativamente ao produto final. No caso do produto-piloto, há um aumento no seu tempo de atravessamento porque se reserva um espaço de tempo para que as discussões ocorram livremente e para que diferentes métodos sejam experimentados. Além disso, eventuais problemas no produto-piloto não comprometem as relações com o cliente, uma vez que o mesmo não é comercializado. No caso do *ramp up* ou *on-line learning*, os prazos originais de entrega ao cliente estão mais suscetíveis de serem afetados pela imprevisibilidade dos problemas a serem solucionados na própria produção e eventuais problemas na qualidade produto final comprometem as relações com o cliente.

Embora existam diferenças entre a prototipagem que tipicamente é realizada na concepção de um produto e as atividades de experimentação da produção, é possível identificar semelhanças entre as mesmas. Todos os tipos de experimentação da produção mencionados:

estudo piloto, produção-piloto e *ramp up* ou *on-line learning* têm o propósito de reduzir o risco e a incerteza. Além disto, este propósito é atingido buscando-se uma especificação do objeto em estudo através de investigações conduzidas experimentalmente a partir de uma aproximação deste objeto.

Com base na definição de prototipagem apresentada na seção 3.2.1, entende-se que as atividades produção-piloto, *ramp up* e *on-line learning* também podem ser denominadas como prototipagem. Como o produto aproximado nestes casos é o processo de produção, estas atividades são entendidas como prototipagem do processo de produção.

Considerando a tendência de se realizar de forma simultânea as diversas etapas do processo de desenvolvimento do produto (ROSENTHAL; TATIKONDA, 1992; BROWN; EISENHARDT, 1995; REINERTSEN, 1997; PATTERSON, 1999; OTTO; WOOD, 2001), em muitas situações existe a necessidade de se realizar, em paralelo, protótipos voltados à concepção do produto e também à concepção do sistema de produção. De fato, algumas das técnicas de prototipagem mencionadas neste capítulo, podem ser utilizadas, em algumas circunstâncias, para ambos os tipos de prototipagem. Por exemplo, segundo Turner (2005), um estudo piloto pode contribuir para experimentar e aprovar o projeto do produto e o método de produção a ser adotado.

A seguir são apresentados os procedimentos e diretrizes para a implementação de atividades de prototipagem. Doravante será utilizado o termo prototipagem na produção para referenciar a prototipagem realizada na produção comercial (*ramp up* ou *on-line learning*).

### **3.3 PROCEDIMENTOS E DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA PROTOTIPAGEM**

#### **3.3.1 Estruturação para Implementação da Prototipagem**

Ulrich e Eppinger (2000) destacam a importância de efetuar um planejamento da atividade de prototipagem com o intuito de evitar que os resultados não contribuam para o propósito almejado. Esses autores propõem um roteiro para realizar o planejamento da prototipagem em que os seguintes aspectos são explicitados: propósito do protótipo; nível de aproximação do protótipo em relação às características do produto; número de protótipos a serem construídos; esboço dos testes aos quais o protótipo será submetido e o cronograma para o processo de prototipagem.

Para aplicação da prototipagem propriamente dita, Clark, Chew e Fujimoto (1992) sugerem o emprego de um conjunto de procedimentos estruturados e cíclicos que envolvem o estabelecimento de uma meta, a definição de uma alternativa para atingi-la, testes e avaliação dos resultados tendo em vista a meta. Segundo os mesmos autores, trata-se de um método estruturado para solução de problemas, semelhante ao ciclo *PDCA*, proposto por Shewhart e discutido nas seções 2.6.2 e 2.6.3.

### 3.3.2 Diretrizes para a Implementação da Prototipagem

Segundo Thomke (2001), a agilidade na condução da atividade de experimentação propicia o aumento da velocidade de aprendizagem e do retorno de decisões atreladas ao cronograma de desenvolvimento do produto. Este autor sugere que sejam utilizadas tecnologias adequadas ao nível de incerteza ao longo das etapas de desenvolvimento do produto.

Associada a esta diretriz, Thomke (2001) menciona o fundamento dos 3Rs – *rough* (grosseiro); *rapid* (rápido) e *right* (certo). Por exemplo, simulações através do computador, prototipagem virtual por intermédio de *softwares* 3D e prototipagem rápida ou protótipos físicos incompletos podem trazer a informação necessária para aquele momento. Em outras palavras, esse autor sugere que se abdique do excesso de preciosismo nos protótipos iniciais, fazendo com que informações simples possam ser obtidas rapidamente e incorporadas ao desenvolvimento do produto no momento necessário.

Ulrich e Eppinger (2000) e Faithfull, Ball e Jones (2001) também recomendam uma hierarquia na seleção de tipos de prototipagem. Os mesmos autores esclarecem que protótipos analíticos, em geral, são os primeiros a serem empregados porque implicam menores custos, maior facilidade de alteração de parâmetros com repercussão nos resultados e maior agilidade nas respostas. No entanto, conforme destacam Ulrich e Eppinger (2000), normalmente os protótipos analíticos não eliminam a necessidade de protótipos físicos, porém são úteis para identificar que aspectos devem ser explorados nos protótipos físicos.

Faithfull, Ball e Jones (2001) acrescentam que protótipos físicos focados, isto é de apenas parte do produto, têm sido frequentemente empregados quando a diferença de custo entre um protótipo analítico e um protótipo físico do produto completo é elevada. Grimm (2004) destaca que, nestes casos, a prototipagem rápida é frequentemente empregada.

Thomke (2001) sugere, também, processar rapidamente as informações ao término de cada etapa do experimento, permitindo que as mesmas sejam incorporadas na etapa seguinte.

Ulrich e Eppinger (2000) alertam para a necessidade de vinculação das datas de término de cada etapa da prototipagem ao cronograma do desenvolvimento do produto final. Esses autores afirmam que um prazo muito exíguo para o lançamento do produto pode levar a equipe envolvida a não completar a atividade de prototipagem, deixando de realizar as etapas de compilação e análise dos dados e de consolidação das lições aprendidas.

Em relação às pessoas a serem envolvidas, Thomke (2001) sugere a formação de um grupo pequeno, composto por pessoas chave (projetistas, engenheiros de teste e engenheiros de produção), que tenham conhecimento apropriado para o estudo.

Diversos autores (THOMKE, 2001; REINERTSEN, 1997; PATTERSON, 1999) apontam a necessidade de valorizar as falhas como forma de aprendizagem e de combate aos erros, na medida em que estes são geralmente decorrentes de problemas na assimilação das lições não aprendidas com as falhas. Reinertsen (1997) também alerta para a importância da ampla veiculação dos resultados, pois a conduta de encobrir as falhas expõe a equipe à repetição das mesmas, não gerando informações novas que possam contribuir para a evolução do conhecimento na tarefa executada.

Thomke (2001) aponta alguns elementos básicos na condução da experimentação: definição de propósitos claros, levantamento de hipóteses (o que se espera que ocorra) e definição de variáveis de controle que permitam avaliar a eficiência das alternativas experimentadas para o propósito definido. Estes parâmetros são considerados pelo referido autor como importantes para promover a aprendizagem proporcionada pela experimentação. Spear e Bowen (1999) também destacam a importância destes parâmetros na condução de experimentos voltados à resolução de problemas no STP, contribuindo para a aprendizagem dos funcionários. Em ambientes nos quais a variabilidade e a incerteza são elevadas, Thomke (2001) sugere que sejam efetuados experimentos múltiplos e repetitivos.

Thomke (2001) propõe a combinação de tecnologias novas e tradicionais nos processos de prototipagem, pelo fato de que o uso de uma tecnologia nova muitas vezes implica um desempenho inicial aquém do esperado, podendo ser pior do que a tecnologia anterior. Segundo o mesmo autor, as tecnologias atuais para acelerar a experimentação normalmente não substituem integralmente os protótipos físicos, que continuam sendo necessários em etapas mais avançadas do desenvolvimento do produto.

No que diz respeito à produção-piloto realizada diretamente na linha de montagem comercial, Clark, Chew e Fujimoto (1992) destacam algumas diretrizes com o intuito de

amenizar os efeitos da experimentação no tempo de atravessamento dos produtos já existentes na linha de produção. Os referidos autores destacam que a solução de interromper temporariamente a fabricação dos produtos existentes para realizar a produção-piloto, acarreta perdas significativas no volume de produção. Uma solução alternativa consiste em intercalar a fabricação de produtos existentes com produtos-piloto e aproveitar a ociosidade de operários com baixa carga de trabalho para absorver a diferença de produtividade.

Clark, Chew e Fujimoto (1992) mencionam que o sucesso das empresas automobilísticas japonesas ao introduzir a produção-piloto na linha de montagem comercial é decorrente de dois fatores principais: (a) alta capacidade de gestão da produção, abrangendo eficiência no suprimento e manuseio de materiais e no planejamento da produção, mão de obra e supervisores qualificados e, finalmente, um controle da produção que permita garantir a flexibilidade necessária para lidar com a complexidade proveniente do *mix* de produtos novos e existentes na linha de montagem e; (b) um projeto do produto completo e preciso, evitando interrupções freqüentes. Clark, Chew e Fujimoto (1992) destacam que este último fator é possibilitado pelo uso intenso de outros recursos de prototipagem mais focados no produto em etapas anteriores à produção-piloto.

Na seção 2.6.5 foi apontada a necessidade de uma cultura voltada à experimentação como importante fator na capacidade de improvisar diante de situações não corriqueiras e imprevistas. Vera e Crossan (2005) destacam a disponibilidade de recursos (por exemplo, tempo, pessoas capacitadas e o capital) como um requisito básico na cultura voltada à experimentação.

No primeiro capítulo discutiu-se a respeito do potencial da prototipagem para definir padrões e a revisão da literatura (seção 2.6.4) indicou que a padronização contribui para aprimorar o conhecimento acerca do uso dos recursos. Portanto, um questionamento natural é como disponibilizar os recursos necessários para a atividade de prototipagem, mais especificamente, para a produção-piloto, considerando que uma das principais contribuições é justamente a definição desta informação. Nestas situações, Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) sugerem que haja certa folga de recursos e o uso de experimentação virtual, como por exemplo, a simulação. Também é sugerida pelos autores, a aprendizagem a partir do conhecimento de pessoas que tenham experiência anterior em situação similar à investigada na produção-piloto.

A seguir, discorre-se a respeito do emprego da prototipagem especificamente no ambiente da construção civil.

### 3.4 PROTOTIPAGEM NO AMBIENTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL

#### 3.4.1 Produção Científica a Respeito de Prototipagem na Construção Civil

O grau de incerteza ao longo do processo de desenvolvimento do produto na construção civil é considerado elevado, desde a etapa inicial de captura dos requisitos do cliente (MIRON, 2002) até a etapa final, dadas às características do seu sistema de produção relatadas no capítulo anterior.

Em função deste contexto e da declarada contribuição da prototipagem para reduzir a incerteza, uma série de artigos relacionados à prototipagem virtual vêm sendo publicados no periódico internacional *Automation in Construction*<sup>23</sup>, cuja edição iniciou em 1992.

As aplicações dos modelos 3D e 4D e dos recursos de realidade virtual ao longo das etapas de desenvolvimento do produto na construção civil são o principal enfoque destes artigos. Uma série de estudos de caso é reportada e os benefícios de cada aplicação são apresentados.

Os modelos 4D resultam da combinação de modelos CAD 3D com programas computacionais de planejamento (MA; SHEN; ZHANG, 2005; CHAU; ANSON; SARAM, 2005a, 2005b). As principais contribuições destes modelos são: melhor construtibilidade dos projetos (UGWUA et al., 2005), visualização da evolução física das etapas da obra, gerenciamento do uso dos espaços no canteiro (MA; SHEN; ZHANG, 2005; CHAU; ANSON; SARAM, 2005a, 2005b), localização de equipamentos de transporte vertical, análise de tempos de movimentação da grua, verificação de acessos para equipamentos, visualização de áreas de armazenagem, coordenação de equipes, evitando congestionamento das mesmas nos postos de trabalho e planejamento para alocação e utilização de recursos (CHAU; ANSON; SARAM, 2005b).

Chau, Anson e Saram (2005b) mencionam que, apesar das contribuições dos modelos 4D para a construtibilidade dos projetos e para o planejamento da obra, uma barreira ao uso intensivo dos mesmos constitui-se na quantidade de horas necessárias para a criação, manutenção e uso dos modelos.

---

<sup>23</sup> Embora artigos referentes à aplicação da prototipagem virtual na construção civil tenham sido encontrados em outros periódicos, tais como, *Journal of Materials Processing Technology*, *Building and Environment* e *Construction Innovation: Information, Process, Management, Research in Engineering Design*, constatou-se que o periódico *Automation in Construction* possuía a maior parte das publicações voltadas a reduzir a incerteza relacionada ao sistema de produção do empreendimento.

A realidade virtual empregada em conjunto com os modelos 3D apresenta-se como outro recurso, também classificado como prototipagem virtual, para apoiar a elaboração do projeto e o planejamento do sistema de produção. Bouchlaghem et al. (2005) utilizaram este recurso como meio para melhorar a visualização do produto nestas etapas do seu desenvolvimento. Os benefícios relatados por aqueles autores estão associados, principalmente, à melhoria na comunicação, com as seguintes repercussões:

- Na fase inicial de projeto - maior facilidade na captura de requisitos de clientes e usuários porque possibilita que estes possam explorar virtualmente os ambientes e comparar e analisar diferentes opções;
- Em fases mais avançadas do projeto - melhores condições para analisar a facilidade de acesso e manutenção no uso do edifício;
- Na fase de produção - maior facilidade para interpretar detalhes construtivos por parte das equipes.

No que diz respeito à exploração dos recursos de prototipagem rápida, Santos e Fressato Filho (2005) afirmam que ainda é escassa a literatura na construção civil em relação a outros setores industriais. Segundo estes autores, o setor da construção civil pode se beneficiar do emprego deste recurso, principalmente, para aprimorar o *design* de seus componentes e o aspecto da sustentabilidade.

A prototipagem no início da etapa de produção, utilizando-se do próprio processo de produção, é abordada por Ballard e Howell (1997a). Estes autores utilizam o termo *First Run Study (FRS)* de forma semelhante ao que Turner (2005) denomina estudo piloto e Clark, Chew e Fujimoto (1992) nomeiam produção-piloto. Tendo em vista a importância do *First Run Study* para o foco deste trabalho, a seguir, esta forma de prototipagem é abordada de forma mais detalhada.

### **3.4.2 First Run Study (FRS)**

#### **3.4.2.1 Caracterização da atividade**

*FRS* é definido por Ballard (2000) como um plano detalhado, elaborado por uma equipe multifuncional composta por representantes daqueles que executarão a tarefa. Este plano é colocado em prática no primeiro ciclo de repetição (*first run*), sendo seguido de estudos que

visam a redesenhar as operações que constituem a tarefa e a reavaliá-las até que um padrão do processo seja estabelecido.

Ballard e Howell (1997a) descrevem: “o primeiro ciclo de cada tarefa deve ser analisado em detalhes, idéias e sugestões solicitadas de todas as partes e, experimentos colocados em prática para explorar formas alternativas de executar o trabalho. O resultado será um desempenho padrão, em termos de resultados e métodos. Este padrão é utilizado, não como um procedimento rígido, mas como um desafio a ser atingido ou superado”.

Howell e Ballard (1999) sugerem o uso do *FRS* como meio para lidar com a incerteza e complexidade da construção civil, fruto da falta de domínio completo dos métodos de trabalho e da grande quantidade de elementos intervenientes que interagem de forma imprevisível.

As declarações de Ballard e Howell (1997a), Howell e Ballard (1999) e Ballard (2000) destacadas nos parágrafos anteriores indicam que o *FRS* contribui para a redução da incerteza por intermédio da definição do padrão na medida em que este proporciona maior domínio do método de trabalho. Em seguida, a contribuição do *FRS*, enquanto atividade de prototipagem, é discutida a partir de outros autores.

#### **3.4.2.2 Seleção de tarefas para aplicação do *FRS***

Howell e Ballard (1999) afirmam que a aplicação do *FRS* deve ocorrer em todas as tarefas de cada empreendimento. Porém, acrescentam que, se por alguma razão for necessário selecionar tarefas, aqueles críticas em termos de prazo, aquelas sujeitas a riscos de acidentes e as tarefas novas devem ser priorizadas. Portanto, um fator considerado relevante pelos autores ao selecionar a atividade para aplicação do *FRS*, refere-se à estratégia competitiva.

Os autores consideram, também, as tarefas repetitivas como prioritárias. Estes autores complementam: “as tarefas repetitivas possibilitam mais facilmente o retorno do empenho da equipe ao efetuar o *FRS*. No entanto, normalmente, não são priorizadas porque a equipe considera que já conhece o suficiente a respeito do seu método, a menos que as mesmas se encaixem em uma das demais categorias citadas”.

A recomendação de Howell e Ballard (1999) de que a aplicação do *FRS* deve ocorrer em todas as atividades de cada empreendimento, aparentemente difere daquelas apresentadas por todos os autores citados até o momento, que sugerem a aplicação da prototipagem somente em atividades que envolvam incerteza e risco. Turner (2005) se posiciona claramente contrário ao



emprego de estudos piloto em atividades rotineiras e Patterson (1999) recomenda que a prototipagem seja aplicada somente a situações novas devido ao esforço empreendido pela equipe ao efetuar a experimentação.

Howell e Ballard (1999) entendem que toda atividade na construção civil tem potencial para ter seu método estudado. Segundo Ballard e Howell (1997a), ao analisar o processo de produção de uma tarefa, é sempre possível propor métodos alternativos e reduzir o custo ou melhorar a segurança ou a qualidade na ordem de 25 a 50 por cento.

Uma vez que estes autores concordam que o maior benefício do *FRS* é a redução da incerteza e do risco, deduz-se que as atividades na construção, de uma forma geral, estão sujeitas a um nível de incerteza que justifique a aplicação do *FRS*. As fontes de incertezas discutidas na seção 2.5.2 explicam este entendimento. Dentre as fontes citadas, destaca-se o fato do produto constituir-se no seu próprio protótipo, apontando a importância de se conduzir de forma consciente o processo de experimentação ao executar as atividades, visando, principalmente, à aprendizagem para atuar em ambientes incertos conforme sugerem Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991).

### 3.4.2.3 Antecedência do *FRS* em relação ao início da tarefa

Ballard e Howell (1997a) recomendam que o *FRS* ocorra com uma antecedência de 3 a 6 semanas do início tarefa objeto de estudo. Ou seja, o *FRS* é uma prática inserida dentro do sistema *Last Planner*<sup>MR</sup> proposto por Ballard (2000).

O sistema *Last Planner*<sup>MR24</sup> é considerado um mecanismo de proteção da incerteza que provem da indisponibilidade do *kit* completo citado por Ronen (BALLARD, 2000) e equivalente aos sete fluxos citados por Koskela (1999, 2000) na seção 2.5.2. Um importante passo do mecanismo *Last Planner*<sup>MR</sup> constitui-se na remoção das restrições que impedem a disponibilidade dos *inputs* necessários a execução da tarefa. No entanto, Howell e Ballard (1999) afirmam que a variabilidade proveniente da falta de domínio do método de trabalho seja removida mediante o emprego do *FRS*.

A interpretação para as recomendações de Ballard, Harper e Zabelle (2002) é de que os *inputs* mencionados por Koskela (1999, 2000): projetos, mão de obra, materiais,

---

<sup>24</sup> O sistema *Last Planner*<sup>MR</sup> consiste em um mecanismo para transformar o que deve ser feito no que pode ser feito, formando assim um estoque de pacote de trabalho a partir do qual os planos semanais de curto prazo pode ser formado. Ao incluir estes pacotes de trabalho no curto prazo, a equipe de produção (mestre e encarregados) assume um compromisso de que os mesmo realmente serão executados (BALLARD, 2000).

máquinas/equipamentos, tarefas pré-requisitos, espaço e, na medida do possível, condições externas devam ser assegurados pelo mecanismo de remoção das restrições.

No entanto, conforme mencionado na seção 2.6.4, Howell e Ballard (1999) entendem que ao longo da execução, há necessidade de ajustar as informações relativas à, por exemplo, localização dos materiais, número e tipo de equipamentos, capacidade de produção da equipe e estoques de trabalho intermediários (trabalho em progresso).

Em seguida são apresentados os procedimentos descritos por Ballard e Howell (1997a) para aplicar o *FRS*.

#### 3.4.2.4 Procedimentos para aplicação do *FRS*

Ballard e Howell (1997a) apresentam um roteiro para aplicação do *FRS* cujos procedimentos enquadram-se no ciclo *PDCA*. Os procedimentos estão representados na Figura 3.1.

##### **DEFINIÇÃO DO PLANO (PLAN)**

- 1- Selecionar a tarefa a ser estudada;
- 2- Motivar as pessoas e esclarecer o propósito do estudo;
- 3- Elaborar o desenho do método, incluindo todas as operações, utilizando, por exemplo, o gráfico de barras;
- 4- Discutir através de um *brainstorming* como eliminar, reduzir ou tornar paralelas algumas operações;
- 5- Verificar o desenho do método quanto ao aspecto segurança, antecipando riscos e especificando prevenções;
- 6- Listar prováveis erros e especificar prevenções com base em experiências anteriores;
- 7- Designar mão de obra capacitada e os recursos necessários (materiais, equipamentos e ferramentas);

##### **EXECUÇÃO DO PLANO (DO)**

- 8- Colocar as idéias em prática na primeira rodada;

##### **VERIFICAÇÃO (CHECK)**

- 9- Descrever e medir o que realmente ocorre;
  - Passos do processo (operações), seqüências e durações
  - Erros, omissões e retrabalho
  - Acidentes, quase acidentes e riscos
  - Recursos utilizados (mão de obra, equipamentos e ferramentas)
  - Produtividade

##### **AÇÕES DE CORREÇÕES (ACT)**

- 10- Reconvocar a equipe, inclusive aqueles que executam a tarefa para rever os dados e compartilhar idéias. Os passos anteriores se repetem até que tenham sido exauridas as possibilidades de melhorias;
- 11- Comunicar o método melhorado e o desempenho esperado como o padrão a ser atingido ou superado.

**Figura 3.1 – Procedimentos para condução do *FRS* a partir do ciclo *PDCA***  
(Fonte: Ballard e Howell, 1997a)

O roteiro apresentado na Figura 3.1 aponta que a definição dos planos a serem colocados em prática no primeiro ciclo de repetição e as propostas de alterações para melhoria ocorrem a partir da troca de conhecimento entre as pessoas que executam a tarefa em estudo.

Ferramentas gráficas para representar o desenho do método e técnicas para estimular a troca de conhecimento, tais como, o *brainstorming* são valorizadas porque promovem a aprendizagem da equipe com relação ao método de execução da tarefa.

Dentre as alternativas mencionadas por Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991) para acelerar o processo de aprendizagem (seção 3.2.5), Ballard e Howell (1997a) incluem no roteiro acima, apenas a experiência de outras pessoas. Entretanto, Ballard (2005) relata o emprego de modelos 3D e recursos de realidade virtual na construção do Terminal 5 do Aeroporto de Heathrow em Londres com o objetivo de apoiar a elaboração do desenho do método de trabalho na aplicação do *FRS*.

Como fatores a serem considerados no acompanhamento dos métodos de trabalho a serem colocados em prática no primeiro ciclo de repetição, Ballard e Howell (1997a) destacam: conjunto de operações a serem cumpridas (conteúdo do trabalho), seqüência de execução, duração, produtividade, equipe, materiais, ferramentas e procedimentos de segurança. Esses fatores correspondem à grande parte dos elementos do método que compõem o padrão citados na seção 2.6.4, confirmando o potencial do *FRS* para estabelecer o padrão.

Destaca-se que, apesar do caráter experimental do *FRS*, implicando a necessidade de constantes interrupções para esclarecer dúvidas e discutir problemas quando da execução da tarefa no primeiro ciclo de repetição, Ballard e Howell (1997a) entendem ser possível estabelecer durações e produtividades a serem atingidas ou desafiadas. A explicação para este entendimento está associada ao domínio crescente do método de trabalho, propiciado pela repetição na execução da tarefa até que se encontre uma melhor forma para executá-la.

Com base na caracterização do *FRS* e nas condições e procedimentos para sua aplicação, a seguir, é feita uma análise desta atividade de experimentação frente às variações de prototipagem voltadas à gestão do processo de produção empregadas na indústria da manufatura.

#### **3.4.2.5 Comparação do *FRS* às variações de prototipagem do processo de produção empregadas na manufatura**

O *FRS* assemelha-se à prototipagem realizada na etapa de produção nomeada por Clark, Chew e Fujimoto (1992) como produção-piloto. Ambas se utilizam da execução antecipada do produto para experimentar métodos alternativos, buscando iniciar a produção propriamente dita em melhores condições em termos de domínio do processo de produção. Ou seja, assim como na

produção-piloto, o processo de experimentação no *FRS* ocorre em um ambiente de menor pressão em termos de prazo do que na prototipagem na produção (*ramp up*).

Ballard e Howell (1997a) descrevem que, na primeira unidade de produção, há ciclos sucessivos de experimentação do plano para execução da tarefa até que um padrão seja definido. No entanto, estes autores não esclarecem se este ciclo de experimentações resulta na primeira unidade do produto final, ou se acontece em ambiente fictício, isto é, fora do local onde a tarefa é executada, gerando um produto que não se constitui no produto final. O esclarecimento deste aspecto foi destacado como sendo relevante na seção 3.2.5, tendo em vista a maior pressão em termos de prazos e qualidade a qual o produto final está sujeito, comparativamente a um produto-piloto.

Quando o *FRS* é empregado em tarefas não repetitivas, normalmente, é inviável, sob o ponto de vista de custo e prazo, o ensaio fora do local onde a tarefa é executada, sendo necessário fazer uso da produção do produto final para definir o método de execução. Entretanto, mesmo em tarefas não repetitivas, porém, nas quais o fator segurança seja preponderante, a experimentação em ambiente fictício pode ser necessária, tendo em vista a possibilidade de testar métodos alternativos em ambientes controlados.

O fato de Ballard e Howell (1997a) destacarem que na fase de verificação (Figura 3.1) devem ser avaliados aspectos, tais como, produtividade, acidentes e quase acidentes, recursos empregados e durações indica que o ambiente no qual se realiza o *FRS* deve ser o mais próximo possível do ambiente real.

Uma diferença entre a produção-piloto citada por Clark, Chew e Fujimoto (1992) e o *FRS* mencionado por Ballard e Howell (1997a) consiste na quantidade de produtos gerados pelo ato de experimentar. Na produção-piloto na manufatura, normalmente, mais de um produto-piloto é gerado, ao passo que no *FRS*, apenas uma unidade é produzida, embora vários métodos alternativos possam ser colocados em prática para produzi-la. Portanto, o *FRS* não permite uma avaliação de elementos do método relacionados ao fluxo contínuo de produção, tais como, trabalho em progresso e recursos compartilhados, citados na seção 2.6.4. Entretanto, a recomendação de Ballard e Howell (1997a), no sentido de empregar o *FRS* em todas as atividades de cada empreendimento, favorece as condições para atuar no fluxo contínuo quando da produção propriamente dita. Ou seja, quanto maior o número de tarefas submetidas ao *FRS*, maiores as chances de atingir a estabilidade básica referenciada na seção 2.4.6 como condição para se buscar o fluxo contínuo de produção.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão bibliográfica neste capítulo discutiu os conceitos e abordagens de prototipagem presentes na literatura de desenvolvimento de produto na manufatura, procurando analisar a correspondência com a descrição do *FRS* apresentada por Ballard e Howell (1997a) e Howell e Ballard (1999).

A contribuição da prototipagem para aprimorar a integração entre organizações, a comunicação e a aprendizagem (ULRICH; EPPINGER, 2000) aponta para a possibilidade de explorar a prototipagem para a redução da incerteza na construção civil, enfocando a padronização à luz das abordagens da função gerenciamento mencionadas no capítulo anterior.

## **4 MÉTODO DE PESQUISA**

---

### **4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Neste capítulo é descrito o método utilizado para conduzir este trabalho, sendo que inicialmente é apresentada a oportunidade para o desenvolvimento do primeiro estudo, uma vez que esta teve grande influência no desenrolar dos demais estudos. Em seguida, apresenta-se o delineamento e a estratégia de pesquisa utilizada. Ao final, é descrito o processo de pesquisa, abrangendo as etapas de cada estudo, os dados utilizados para analisar as contribuições da prototipagem e as fontes de evidência utilizadas na coleta de dados.

### **4.2 OPORTUNIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DO PRIMEIRO ESTUDO**

A oportunidade para realização de um estudo sobre prototipagem foi oferecida por uma empresa com sede na cidade de Porto Alegre, que desenvolve, principalmente, obras de ampliação e manutenção de prédios hospitalares e industriais. Esta empresa foi fundada em 1983 e é certificada pela norma ISO 9001 (ABNT, 2000).

Seus empreendimentos são caracterizados por prazo de execução exíguo, pela existência de várias frentes paralelas de trabalho, pelo desenvolvimento do projeto simultaneamente à produção e pela interferência constante do cliente na definição do produto e em decisões com repercussões nas estratégias de produção. Tais interferências decorrem, normalmente, da necessidade de continuidade das atividades de prestação de serviço do contratante paralelamente à execução do empreendimento.

É importante destacar que a empresa vinha participando desde 1998 de diversas pesquisas relacionadas à gestão da produção e ao desenvolvimento de produto em parceria com o NORIE/UFRGS<sup>25</sup>. No caso desta pesquisa, o gerente de contrato manifestou o interesse de que a empresa aprendesse a utilizar a prototipagem como meio para diminuir a incerteza presente em seus empreendimentos e assim, reduzir custos e prazos.

Outro ponto considerado importante para que os estudos viessem a ser desenvolvidos nesta empresa foi o fato da mesma adotar um sistema de planejamento e controle da produção (PCP) implementado desde 2001. O sistema de PCP adotado pela empresa constitui-se no

---

<sup>25</sup> NORIE - Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

modelo de planejamento desenvolvido por Bernardes (2001) com base no sistema *Last Planner*<sup>MR</sup> proposto por Ballard (2000). Este quesito foi considerado importante porque, conforme mencionam Ballard, Harper e Zabelle (2002), é necessário que a remoção de restrições relacionadas à disponibilidade de recursos e informações ocorra em etapa anterior à aplicação do *FRS*. Doravante esta empresa será denominada empresa A.

O empreendimento que a empresa A disponibilizou para o primeiro estudo consistia na reforma e ampliação de um dos maiores hospitais da cidade de Porto Alegre. As obras de ampliação constituíam-se na construção de 62 apartamentos de internação localizados em uma nova ala da edificação, além da construção de um novo Centro de Tratamento Intensivo e de outras obras de menor tamanho.

Durante todo o período da obra, o hospital manteve-se em funcionamento, exigindo uma grande preocupação com o fluxo de pessoas e de materiais aos locais de uso e também, com a utilização de equipamentos que produziam ruído.

A ala do hospital que vinha sendo ampliada para receber os novos apartamentos de internação consistia em quatro pavimentos construídos sobre três já existentes. A carga destes quatro novos pavimentos ocasionava necessidade de reforço da estrutura existente. Para evitar este reforço foi feita uma mudança no sistema de vedação dos quartos, que passaram a ser em gesso acartonado, permanecendo em alvenaria de blocos cerâmicos apenas os banheiros e toda a área de atendimento localizada nos corredores de cada pavimento da internação.

Além desta alteração, foi realizada uma mudança substancial no projeto de ampliação, havendo inclusive troca de profissionais na equipe que desenvolveu o projeto. Por esta razão, houve uma grande sobreposição entre o processo de projeto e a etapa de produção.

Em função do prazo exíguo para o desenvolvimento dos novos projetos, a cada ala de ampliação que se iniciava, havia a necessidade de revisão e espera para tomada de decisões referentes a detalhes ainda não definidos, causando atrasos no início dos serviços na produção. Em virtude desta série de problemas com repercussões no custo e no prazo de entrega da obra, o regime de contratação foi alterado de empreitada global para administração e a data de entrega da obra foi adiada.

A empresa A era a contratada direta do cliente para a execução da obra. No entanto, todas as contratações, tanto de projetistas quanto de fornecedores de serviços especializados (cobertura metálica, esquadrias, gesso acartonado, instalações), eram efetuadas pelo cliente e não

pela empresa. Frequentemente a contratação destes colaboradores era efetuada em data próxima ao início do serviço, o que, aliado aos problemas de projeto, exigia grande esforço dos engenheiros residentes vinculados à empresa no sentido de agilizar o início dos serviços em condições favoráveis e de adequar o cronograma da obra.

Portanto, o empreendimento estava sujeito a mudanças constantes no projeto e no contrato (objetivos), acarretando a necessidade de reavaliar interdependências, seqüências de execução e prazos. Assim, o ambiente no qual se iniciou a pesquisa era caracterizado como complexo e de alto grau de incerteza de acordo com a literatura<sup>26</sup>, e por isso, apresentava condições nas quais a prototipagem era necessária.

O primeiro processo escolhido para a aplicação da prototipagem foi a montagem de uma escada pré-moldada. Tinha-se como objetivo, realizar este processo de forma segura e em um curto espaço de tempo. No item 4.5.1 este estudo é apresentado em mais detalhes.

#### **4.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA**

A pesquisa envolveu três estudos desenvolvidos em dois contextos diferentes em termos de grau de risco e incerteza e também, de variações nas características do produto e de desafios em relação às metas a serem cumpridas. A forma como estes estudos foram encadeados decorreu principalmente de dois fatores:

- Aprendizagem da pesquisadora não apenas no que dizia respeito aos procedimentos da prototipagem, mas também nas questões a serem investigadas;
- Oportunidades que surgiam para que a pesquisadora pudesse dar continuidade nas investigações.

A Figura 4.1 apresenta o delineamento da pesquisa. O primeiro estudo partiu de uma questão de pesquisa geral, relacionada às contribuições da prototipagem para a redução de riscos e incertezas, sendo estudado o processo de prototipagem na produção de uma escada pré-moldada na ampliação de um hospital.

Ao final deste estudo, a partir da análise dos resultados à luz de uma nova revisão à literatura, foi efetuado um desdobramento da questão inicial de pesquisa em questões mais específicas. Assim, no segundo estudo, também desenvolvido na empresa A, foi realizado um

---

<sup>26</sup> Segundo Williams (1999, 2002) a grande quantidade de elementos interdependentes e a incerteza nos objetivos e métodos levam o sistema a um comportamento complexo e imprevisível, ou seja, a incerteza se potencializa.



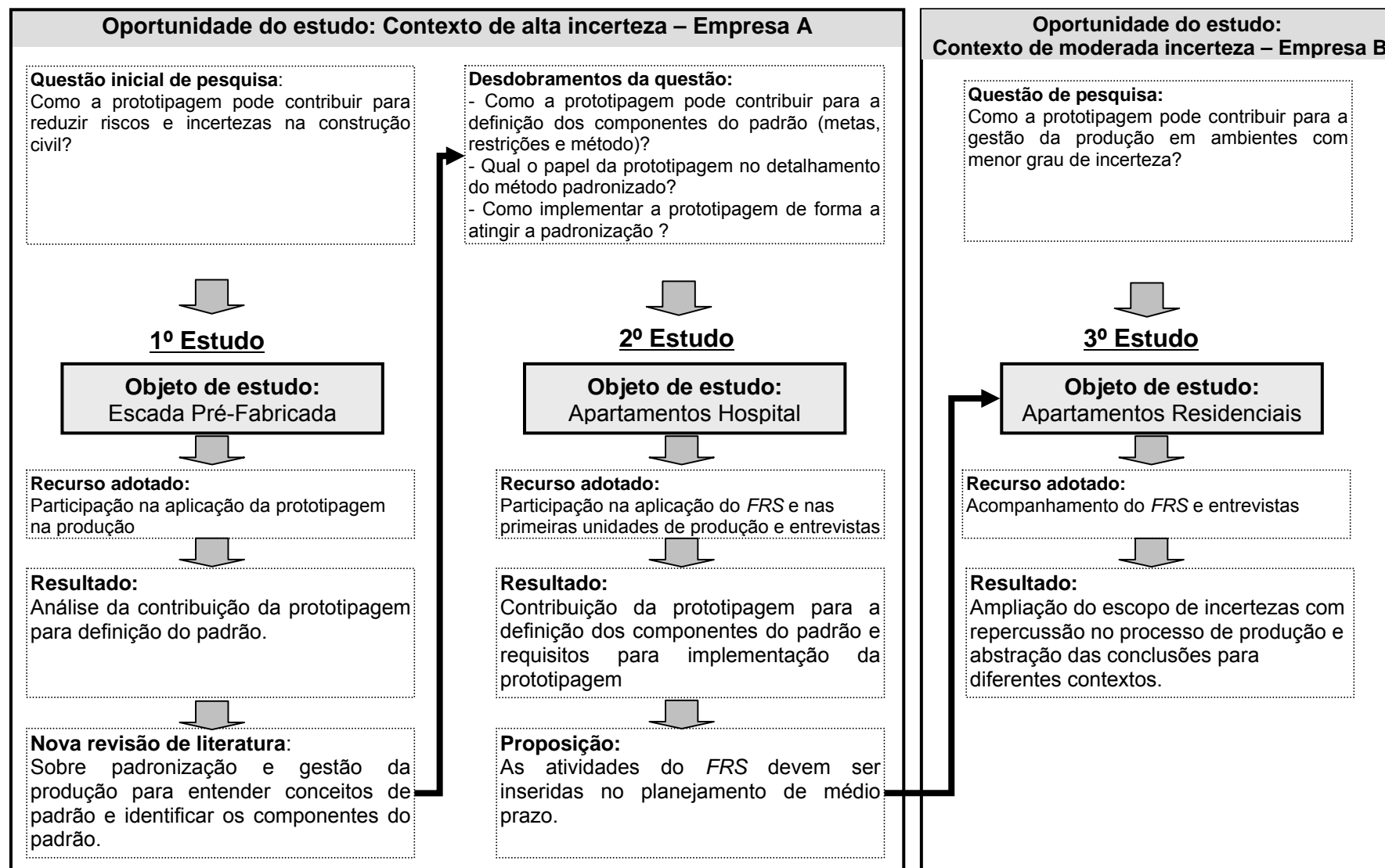


Figura 4.1 – Delineamento da pesquisa

*FRS* na execução de apartamentos do mesmo hospital, o qual foi norteado por questões relacionadas às contribuições da prototipagem para a definição dos componentes do padrão e aos requisitos para implementar a prototipagem com o objetivo de atingir a padronização do processo.

Os resultados indicaram a necessidade de um terceiro estudo com a finalidade de investigar estes aspectos em um ambiente de menor complexidade e incerteza em relação ao anterior. Por esta razão, foi realizado o terceiro estudo, em uma outra empresa, que atua na execução de obras de incorporação residencial.

Cada um dos estudos encontra-se caracterizado em mais detalhe no tópico 4.5. A seguir, apresenta-se a estratégia de pesquisa adotada.

#### **4.4 ESTRATÉGIA DA PESQUISA**

A pesquisa teve um propósito exploratório, em função da falta de trabalhos científicos que discutissem em profundidade o papel da prototipagem para estudar o processo de produção na construção civil. Além disso, a empresa não havia tido experiências anteriores deste tipo.

Com base nos critérios estabelecidos por Yin (2001), a estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso. Segundo o referido autor, o estudo de caso deve ser empregado quando: (a) as questões de pesquisa são do tipo como ou por que; (b) o pesquisador tem controle limitado sobre o fenômeno investigado; e (c) o foco da investigação encontra-se em fenômenos contemporâneos.

Observa-se que as questões apresentadas na Figura 4.1 atendem ao primeiro critério citado por Yin (2001) e apontam a necessidade de conduzir a investigação em ambiente real e natural de construção, atendendo, também, ao segundo e terceiro critérios estabelecidos por aquele autor.

Destaca-se que nos dois primeiros estudos, houve a participação ativa da pesquisadora como facilitadora no processo de realização da prototipagem, caracterizando um estudo de caso com intervenção. O papel da pesquisadora abrangia a coordenação das reuniões (definições dos planos, reflexões e discussões dos resultados) e a coleta de dados em campo para subsidiá-las.

No terceiro estudo, não houve intervenção da pesquisadora porque a empresa já aplicava o *FRS* na execução de apartamentos. Assim, foi feito apenas um acompanhamento deste processo através de visitas a uma obra e entrevistas.

#### 4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS EMPÍRICOS

##### 4.5.1 Primeiro Estudo

A escada pré-moldada, cujo processo de execução foi estudado, era composta de quatro níveis de pilares, cada nível contendo dois lances de degraus (Figura 4.2). Esta escada não havia sido prevista no escopo inicial do contrato. Sua necessidade foi constatada quando da aprovação do projeto vigente, em decorrência de uma alteração na legislação local, a qual requeria a construção de uma nova escada para atender ao aumento no fluxo de pessoas devido aos quatro pavimentos de ampliação da ala de internação. Desta forma, a escada existente deveria ser ampliada até o sétimo pavimento e a nova escada supriria apenas os quatro pavimentos superiores.

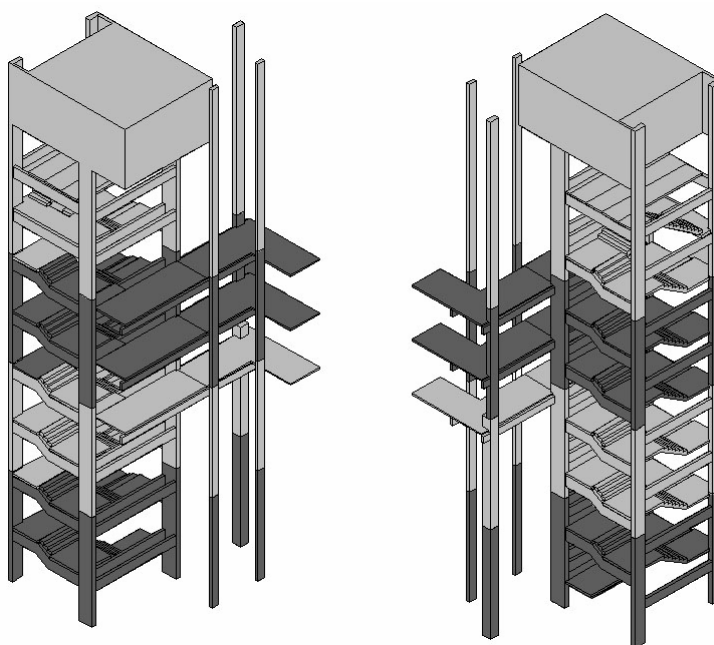
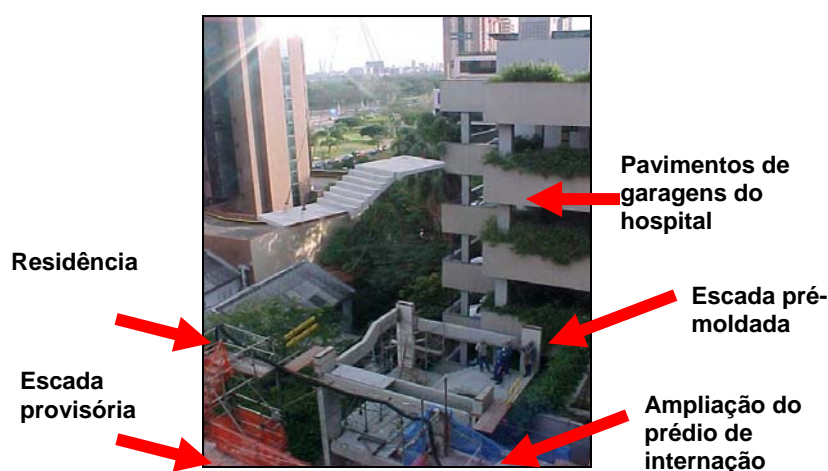


Figura 4.2 – Escada pré-moldada objeto do primeiro estudo.

Ao contrário das demais partes da obra, o cliente deixou a cargo da empresa A todo o pacote que envolvia a execução da escada (escolha da tecnologia, projeto e escolha do fornecedor). Em função do prazo para execução e do custo, a empresa optou pela execução da escada utilizando todas as peças pré-fabricadas em concreto.

A montagem da escada foi realizada por uma empresa especializada na fabricação e montagem de pré-fabricados (EM) e o projeto foi desenvolvido por um projetista contratado pela EM. Como a EM não fornecia o equipamento para a montagem dos pré-fabricados, a empresa A se encarregou da contratação de uma outra empresa para a locação deste.

Dois fatores estimularam a empresa A a explorar a aplicação da prototipagem nesta atividade: a possibilidade de reduzir o risco de acidentes e o prazo, a partir de um melhor conhecimento do processo de montagem. O risco de acidentes era considerado elevado devido às condições de entorno da obra (Figura 4.3) e a necessidade de redução do prazo era justificada, principalmente, pelo alto custo do equipamento de montagem da escada.



**Figura 4.3 - Posição da escada em relação às edificações existentes**

Em função do alto custo de locação do equipamento, não havia a possibilidade de reservar um espaço de tempo para experimentar diferentes métodos no primeiro ciclo de repetição. No entanto, a característica de repetição (quatro níveis de pilares) permitia que cada ciclo fosse uma oportunidade para ambos, pesquisadora e empresa, aprenderem sobre a realização da prototipagem na produção e entender como era possível reduzir riscos e incerteza, conforme preconiza a literatura. Portanto, neste estudo não havia a possibilidade de explorar o *FRS*, mas apenas a prototipagem na produção, conforme a definição adotada no item 3.2.5.

Tendo em vista o caráter exploratório e o propósito de aprendizagem de ambos, pesquisadora e empresa, no que dizia respeito aos aspectos mencionados, a questão inicial de pesquisa adotada foi: Como a prototipagem pode contribuir para reduzir riscos e incertezas na construção civil?

Embora Ballard e Howell (1997a) afirmem que a redução de riscos e incerteza pode ocorrer através da definição de padrões, neste estudo inicial não havia a expectativa de explorar este aspecto por duas razões: (a) em função do pouco conhecimento da pesquisadora e da empresa A a respeito do emprego da prototipagem e (b) a impossibilidade de realizar um *FRS*, mas apenas a prototipagem na produção conforme mencionado acima.

No entanto, os resultados do primeiro estudo indicaram que mesmo nestas condições, apareceram naturalmente nas discussões da equipe questões relacionadas à definição de padrões, incluindo elementos como: sequência de operações, *takt-time*, citados na literatura como elementos do trabalho padronizado no STP.

Este fato implicou um aprofundamento na literatura relacionada à padronização e o retorno à literatura sobre gestão da produção na construção com o intuito de estudar os componentes do padrão no ambiente investigado, especialmente, a natureza dos elementos que devem compor o método de trabalho. Após reinterpretar os resultados do primeiro estudo, houve desdobramentos na questão inicial, sendo estes voltados a investigar as contribuições da prototipagem para a definição de padrões. As questões derivadas a partir do primeiro estudo foram:

- Como a prototipagem pode contribuir para a definição dos componentes do padrão (metas, restrições e métodos)?
- Qual o papel da prototipagem no detalhamento do método de trabalho padronizado?
- Como implementar a prototipagem ao nível de atingir a padronização do método de trabalho?

Ao término do primeiro estudo, foram destacados requisitos a serem cumpridos para que, no estudo subsequente, fosse possível avançar na exploração da contribuição da prototipagem. Entre os requisitos estava a exploração de outros tipos de prototipagem, aplicados antes de iniciar o processo de produção propriamente dito.

#### **4.5.2 Segundo Estudo**

Na realização do segundo estudo havia a possibilidade de construir antecipadamente dois apartamentos de internação de um total de sessenta e dois, caracterizando um *FRS*. Optou-se por realizar o protótipo de uma dupla de apartamentos (banheiros e quartos) e não apenas um apartamento por duas razões: (a) um apartamento não possibilitava espaço

suficiente para que as equipes pudessem trabalhar simultaneamente; e (b) havia atividades que eram comuns a dois apartamentos, como, por exemplo, a fixação de guias e perfis do gesso acartonado da parede que dividia dois quartos.

As Figuras 4.4 e 4.5 ilustram, respectivamente, o quarto e o banheiro estudados. Havia uma grande quantidade de instalações prediais (Figura 4.6) realizadas por diferentes equipes e concentradas em espaços relativamente pequenos. Assim, havia disputa pelo espaço nos *shafts* (forros e paredes), demandando um esforço de coordenação das equipes de produção. Em função destas características, pode-se afirmar que a construção dos apartamentos de internação tinha maior grau de complexidade em relação à montagem da escada pré-moldada.



**Figura 4.4 – Quarto do FRS**



**Figura 4.5 – Banheiro do FRS**



**Figura 4.6 – Tubulação atrás do leito**

Neste caso, o principal estímulo por parte da empresa para realizar um *FRS* e aprimorar o seu conhecimento sobre os componentes do padrão era o cumprimento do prazo de entrega dos apartamentos de internação considerado pela empresa A extremamente exíguo. Outro propósito ao realizar o *FRS* era a aprovação do produto junto à diretoria do hospital. Esta aprovação envolvia, principalmente, a definição de detalhes de acabamento, tais como tipo de régua (*shaft*) que abrigava toda a tubulação e pontos de utilização atrás do leito do paciente.

Com relação aos requisitos para implementar a prototipagem, foi estabelecida ao longo do estudo uma nova proposição, a partir das dificuldades observadas na disponibilidade de recursos para realizar o *FRS*:

- As atividades do *FRS* devem ser inseridas no planejamento de médio prazo.

#### 4.5.3 Terceiro Estudo

Após o segundo estudo, surgiu a oportunidade de investigar as contribuições da prototipagem em outra empresa e em um contexto no qual havia menos incerteza em relação aos dois estudos anteriores, principalmente no que dizia respeito à disponibilidade de recursos. Este fator vinha sendo considerado uma condição necessária para que fosse possível evoluir na investigação quanto às contribuições da prototipagem para a definição dos componentes do padrão. Desta forma, deu-se início a um terceiro estudo, realizado na empresa B.

Esta empresa B foi fundada em 1974 e atua no ramo de incorporação desde a sua fundação. Trata-se de uma empresa de destaque neste ramo, tendo sido eleita pelo SINDUSCON/RS por sete vezes a Incorporadora do Ano. Desde 1996 a empresa vem implementando alguns conceitos e princípios de gestão da produção comumente vinculados ao STP

Dois fatores contribuíram para que a empresa B fosse considerada uma oportunidade adequada para dar seqüência aos estudos anteriores. Primeiramente, esta empresa vinha adotando o emprego de protótipos em seus empreendimentos há cinco anos com o objetivo de estudar detalhes referentes ao processo de produção<sup>27</sup>. Em segundo lugar, a empresa também adotava o sistema de PCP com base no *Last Planner*<sup>MR</sup> e seus empreendimentos seguiam um padrão similar quanto aos materiais de acabamento, indicando que deveria haver menor incerteza no fluxo de recursos para o *FRS*.

O empreendimento no qual o estudo foi desenvolvido era composto de três torres, duas delas com dezenove pavimentos e uma com vinte. Cada torre possuía quatro apartamentos por pavimento, perfazendo um total de 232 apartamentos e uma área total de aproximadamente 36.000 m<sup>2</sup>. A obra era financiada por um banco privado e o cronograma previa a entrega em vinte e quatro meses. Este prazo era considerado perfeitamente exequível tendo como base os vários empreendimentos similares já executados pela empresa.

---

<sup>27</sup> O que efetivamente a empresa estudava quando da construção do apartamento do *FRS* será discutido no próximo capítulo.

Como de costume, neste empreendimento foi construído um apartamento com noventa dias de antecedência em relação ao início da etapa de vedação com gesso acartonado nos demais apartamentos. Portanto, assim como ocorreu no segundo estudo, neste caso o tipo de prototipagem realizado também foi o *FRS*<sup>28</sup>. A Figura 4.7 ilustra o apartamento do *FRS* em execução.



**Figura 4.7 – Vista do apartamento do *FRS* (terceiro estudo)**

Na realidade, o contexto em que empresa B estava inserida apresentava um grau de incerteza inferior ao que a pesquisadora buscava inicialmente, sendo, aparentemente, pouco atrativo para explorar a prototipagem com a finalidade de definir padrões de processos de produção. Esta avaliação inicial era baseada no fato de os empreendimentos seguirem um padrão similar não apenas no que dizia respeito aos materiais de acabamento, mas também, quanto ao tamanho e divisão interna dos apartamentos e tecnologia adotada (lajes planas e gesso acartonado nas vedações internas).

Pressupunha-se que, em função desta condição, não haveria grandes contribuições da prototipagem no que dizia respeito aos componentes do padrão que vinham sendo investigados. No entanto, como a empresa B vinha empregando o *FRS* há cinco anos, decidiu-se realizar o estudo, sendo estabelecida a seguinte questão de pesquisa:

– Como a prototipagem pode contribuir para a gestão da produção em ambientes com menor grau de incerteza?

Entretanto, ao final do estudo, foram constatadas fontes de incerteza passíveis de serem reduzidas pela prototipagem e ainda não detectadas nos estudos anteriores. Também foi possível concluir a respeito das contribuições e requisitos para implementar o *FRS*, que podem inclusive ser úteis para o contexto de obras complexas.

---

<sup>28</sup> A empresa B se referia a este apartamento como protótipo. Embora este apartamento fosse, de fato, um protótipo, por uma questão de rigor com a nomenclatura adotada nesta tese e justificada no terceiro capítulo, a nomenclatura adotada neste estudo é *FRS*.



## **4.6 PROCESSO DA PESQUISA**

### **4.6.1 Ciclos de Aprendizagem no Primeiro e Segundo Estudos**

No início de cada um dos dois estudos foi realizada uma reunião inicial de preparação que contava com a participação da equipe de pesquisadores, gerentes com interesse direto na atividade objeto de estudo e encarregados das equipes de produção. A finalidade desta reunião era definir o propósito da prototipagem, ou seja, o que a empresa A buscava atingir e, na medida do possível, estabelecer uma meta concreta. Nesta oportunidade também era esclarecido: como se desenvolveria o estudo; o papel da equipe de pesquisadores, dos engenheiros da empresa A e das empresas sub-contratadas; os dados a serem coletados e a época ao longo da atividade objeto de estudo em que ocorreriam as reuniões para reflexão a respeito dos planos implementados.

O papel da equipe de pesquisadores era no sentido de apoiar os engenheiros e encarregados da empresa A e das sub-contratadas na definição dos planos, na coleta de dados, na organização e análise dos dados e na coordenação das reuniões nas quais se discutia o plano implementado e se propunha um novo plano.

O processo de pesquisa nos dois primeiros estudos foi sub-dividido em ciclos de definição dos planos, ação e avaliação, que possibilitavam, simultaneamente, a aprendizagem da equipe e da pesquisadora.

Destaca-se que do ponto de vista da pesquisadora houve dois ciclos de aprendizagem, um enquanto integrante da equipe, buscando entender como a prototipagem poderia auxiliar a empresa A a reduzir prazos e custos, e outro, enquanto pesquisadora, buscando entender o papel da prototipagem na redução do risco e da incerteza. Estes ciclos não ocorreram de forma concomitante. Portanto, ao longo da descrição do processo de pesquisa serão apontados os momentos nos quais foram fechados ciclos de aprendizagem da pesquisadora no âmbito das questões a serem respondidas pela pesquisa.

Ao longo dos ciclos de aprendizagem das equipes, eram realizadas reuniões nas quais se avaliavam os resultados alcançados e se definia o plano para o ciclo seguinte. Nesta oportunidade, com base em dados coletados, o plano implementado era analisado e discutia-se acerca de problemas ou oportunidades de melhorias. Entretanto, ao longo da implementação do plano (ação), também ocorriam discussões e reflexões por parte da equipe de

pesquisadores, gerando propostas que eram registradas para discussão e reflexão conjunta nas reuniões.

#### 4.6.2 Primeiro Estudo

Os ciclos de definição do plano, ação e reflexão constituíam-se nas próprias etapas do ciclo *PDCA* do processo de prototipagem. Portanto, no primeiro estudo estas etapas aconteciam dentro de cada ciclo de repetição de montagem da escada, ou seja, a cada pavimento.

Na etapa de ação, a equipe de pesquisadores<sup>29</sup> coletava os dados, que, em seguida, eram rapidamente processados e analisados, para apoiar as discussões realizadas nas reuniões com a equipe da obra. Era realizada uma seleção de dados relevantes e a apresentação destes através de ferramentas gráficas<sup>30</sup> para facilitar o entendimento das pessoas. O tempo consumido para elaborar estas apresentações para cada reunião girava em torno de duas horas.

Estes procedimentos foram necessários por três razões: (a) as reuniões de reflexão tinham duração máxima de 45 minutos, exigindo agilidade no entendimento dos problemas ou informações relevantes para embasar as discussões, as reflexões e a definição de novos planos; (b) o engenheiro de produção e o engenheiro de contrato da empresa A não acompanhavam diretamente a montagem da escada, sendo necessário que os acontecimentos fossem relatados e (c) o processo de entendimento e de reflexão da pesquisadora, especialmente para a formulação dos planos, era facilitado pelo uso de ferramentas gráficas.

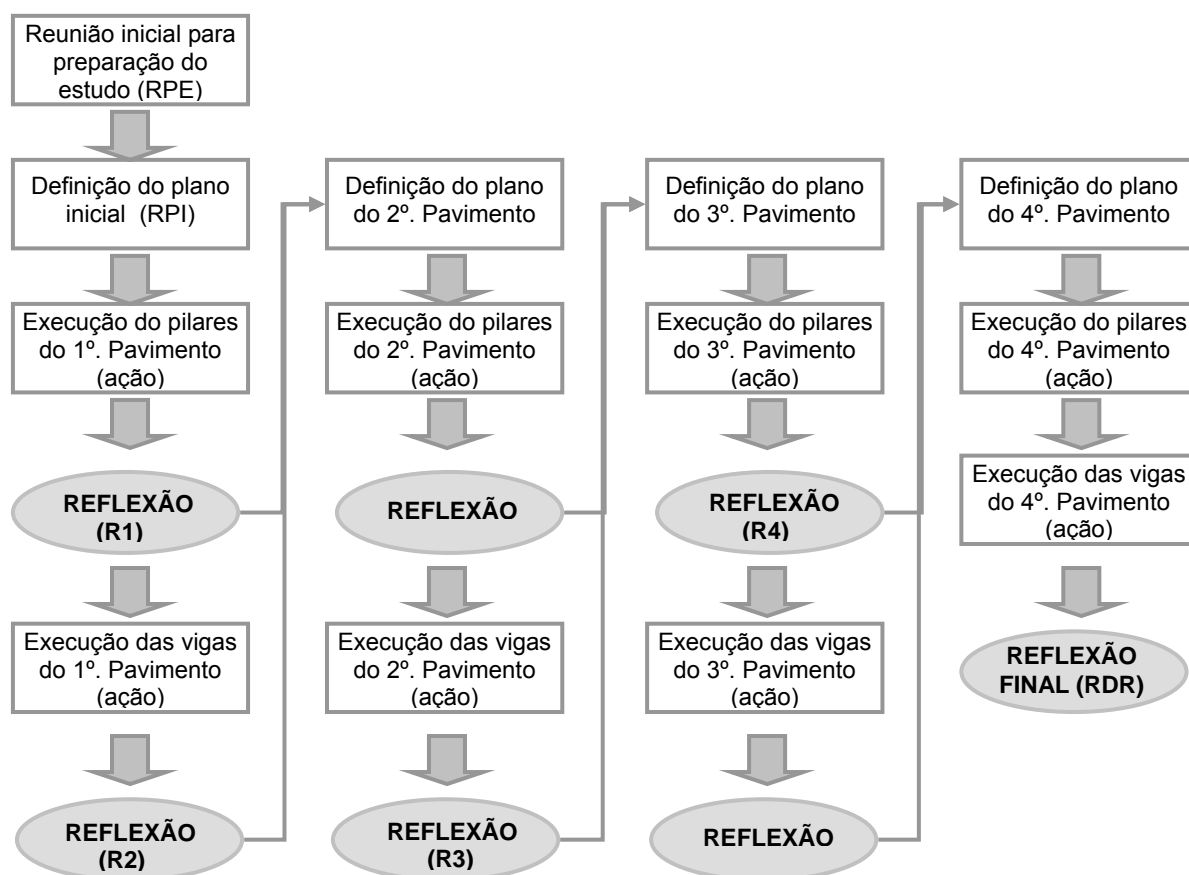
Na Figura 4.8, são apresentadas as principais atividades envolvidas no processo de prototipagem no primeiro estudo, ao longo do tempo. No Quadro 4.1, são apresentadas informações sobre todas as reuniões realizadas, incluindo seu objetivo, vínculo com a etapa da obra e participantes.

---

<sup>29</sup> A equipe de pesquisadores neste estudo era constituída pela pesquisadora e por um mestrando e um auxiliar de pesquisa (aluno de graduação) do NORIE/UFRGS

<sup>30</sup> Estas ferramentas serão citadas no item seguinte, no qual são apresentadas as fontes de evidências e a coleta de dados.

### PROTOTIPAGEM NA PRODUÇÃO



**FIGURA 4.8 - Ciclos definição dos planos – ação – reflexão realizados (1º. Estudo)**

A idéia inicial da pesquisadora era de que as definições dos planos ocorressem no início de cada pavimento, ou seja, antes da montagem de pilares e as reuniões para reflexão, ao término da montagem de cada ciclo de vigas e pilares, conforme mostra a Figura 4.8. No entanto, na reunião de preparação, os três engenheiros da empresa A solicitaram que as reuniões para reflexão ocorressem diariamente. Em função da falta de disponibilidade do encarregado da EM, as mesmas ocorreram apenas no segundo, terceiro, sexto e oitavo dia, conforme indica o Quadro 4.1.

**Quadro 4.1 – Reuniões de reflexão realizadas no primeiro estudo**

<b>OBJETIVO</b>	<b>VÍNCULO COM ETAPA DA OBRA</b>	<b>PARTICIPANTES</b>
Reunião Inicial para preparação do estudo (RPE)	Seis dias antes do início da montagem da escada	Equipe de pesquisadores Gerente de contrato da empresa A Engenheiro de contrato da obra Engenheiro de produção da obra Técnico de segurança da empresa A Engenheiro de contrato da EM
Reunião para definição do Plano Inicial (RPI)	Quatro dias antes do início da montagem da escada	Equipe de pesquisadores Gerente de contrato da empresa A Engenheiro de contrato da obra Engenheiro de produção da obra Encarregado da EM
Primeira Reflexão (R1)	Término dos pilares do 1º. Pavimento (Início do segundo dia)	Equipe de pesquisadores Engenheiro de contrato da obra Engenheiro de produção da obra Encarregado da EM
Segunda Reflexão (R2)	Término das vigas do 1º. Pavimento (Término do terceiro dia)	Equipe de pesquisadores Encarregado da EM
Terceira Reflexão (R3)	Término das vigas do primeiro nível do 2º. Pavimento (Término do sexto dia)	Equipe de pesquisadores Técnico de segurança empresa A Engenheiro de contrato da obra Engenheiro de produção da obra Encarregado da EM
Quarta Reflexão (R4)	Término dos pilares do 3º. Pavimento (Término do oitavo dia)	Equipe de pesquisadores Engenheiro de produção da obra Encarregado da EM Encarregado substituto EM
Reunião para apresentação e discussão dos resultados (RDR)	Uma semana após o término da montagem da escada	Equipe de pesquisadores Diretoria da empresa A Engenheiros da empresa A

Conforme havia sido acordado na reunião de preparação, a equipe que acompanharia a montagem da escada, participando das reuniões de reflexão, era composta por: engenheiro de contrato, engenheiro de produção e o técnico de segurança da empresa A e o encarregado da EM, além dos pesquisadores. Entretanto, conforme mostra o Quadro 4.1, apenas na reunião R3, realizada no sexto dia de montagem, houve a participação da equipe completa. O engenheiro de contrato da EM esclareceu que não era possível contar com sua participação assídua, mas que o encarregado era experiente o suficiente e a pessoa indicada para participar das análises e formulações dos planos.

Uma semana após o término da montagem da escada, houve uma reunião de encerramento do estudo na sede da empresa A, cujo objetivo foi apresentar os resultados para

toda a diretoria e engenheiros da empresa e discutir encaminhamentos para o estudo seguinte. Esta reunião, indicada na Quadro 4.1, foi um momento importante no ciclo de aprendizagem da pesquisadora, na medida em que a consolidação dos resultados para apresentação à empresa forneceu elementos para a reflexão à luz da questão inicial de pesquisa, indicando a necessidade de retorno à literatura.

#### 4.6.3 Segundo Estudo

Entre a reunião de preparação do estudo e o início do *FRS* foram realizadas as seguintes atividades, indicadas na Figura 4.9: (a) revisão e compatibilização dos projetos; (b) contratação das empresas sub-empreiteiras responsáveis pela execução das atividades envolvidas no *FRS* e nos demais apartamentos; (c) aquisição de materiais para execução do *FRS* e demais apartamentos; (d) elaboração de um *phase scheduling*<sup>31</sup> para assegurar o término de serviços pré-requisitos para início do *FRS* e apartamentos de internação; e (e) elaboração de um plano inicial para ser colocado em prática na primeira dupla de apartamentos (*first run study*), conforme preconizam Ballard e Howell (1997a).

As quatro primeiras atividades tinham a finalidade de assegurar as condições para realizar o *FRS*, segundo as recomendações de Ballard, Harper e Zabelle (2002) apresentadas no item 3.4.2.4.

Atividades de Preparação para o FRS	Agosto/04				Setembro/04				Outubro/04				Novembro/04			
Reunião de preparação																
(a) Revisão e compatibilização de projetos																
(b) Contratação de empreiteiras																
(c) Solicitação de materiais																
(d) Elaboração do <i>Phase Scheduling</i>																
(e) Elaboração do plano inicial para o <i>FRS</i>																
Execução do <i>FRS</i> do banheiro																
Execução do <i>FRS</i> do quarto																

Figura 4.9 – Atividades de preparação para execução do *FRS*

Na reunião de preparação deste estudo, da mesma forma que no estudo anterior, foi esclarecido o propósito da empresa A ao realizar o *FRS* e definida a equipe que acompanharia

<sup>31</sup> Segundo Ballard e Howell (2003a), *phase scheduling* consiste em uma técnica para elaborar um plano de uma ou mais etapas (estrutura, alvenaria, revestimento) do empreendimento de tal forma que as datas marco estabelecidas no planejamento de longo prazo sejam cumpridas. Os participantes envolvidos na definição do plano da(s) etapa(s) do empreendimento devem ser os agentes envolvidos, tais como, representantes do contratante e sub-contratantes e projetistas. O plano resultante deve especificar metas e os *handoffs* entre os vários especialistas envolvidos na(s) etapa(s) em questão de forma a atingir tais metas. Os autores enfatizam que o *phase scheduling* tem o importante papel de estabelecer metas claras para o *Last Planner*.

a sua execução. Foi enfatizada a importância da participação de toda a equipe nas reuniões de reflexão previstas para ocorrerem ao final de cada dia e nos momentos necessários ao longo da jornada de trabalho. A intenção do gerente de contrato da empresa A, ao enfatizar a participação de toda a equipe, foi cumprir um requisito levantado na reunião de encerramento do estudo anterior.

Neste estudo, a equipe envolvida na realização do *FRS* era composta pelo engenheiro de contrato, engenheiro de produção e encarregados das equipes de produção, além da equipe de pesquisadores<sup>32</sup>.

Na Figura 4.10, são apresentadas as principais atividades envolvidas no processo de prototipagem no segundo estudo ao longo do tempo. A Figura mostra que a construção da dupla de banheiros do *FRS* e dos demais banheiros aconteceu antes da construção da dupla de quartos do *FRS* e dos demais quartos. A decisão de separar o *FRS* em duas etapas ocorreu na reunião inicial de preparação e foi decorrente de questões técnicas<sup>33</sup>. Tal decisão foi considerada benéfica sob o ponto de vista do ciclo de aprendizagem da equipe porque havia a oportunidade de reflexão ao término do *FRS* dos banheiros que alimentava não apenas a produção dos demais banheiros, mas também a condução do *FRS* dos quartos.

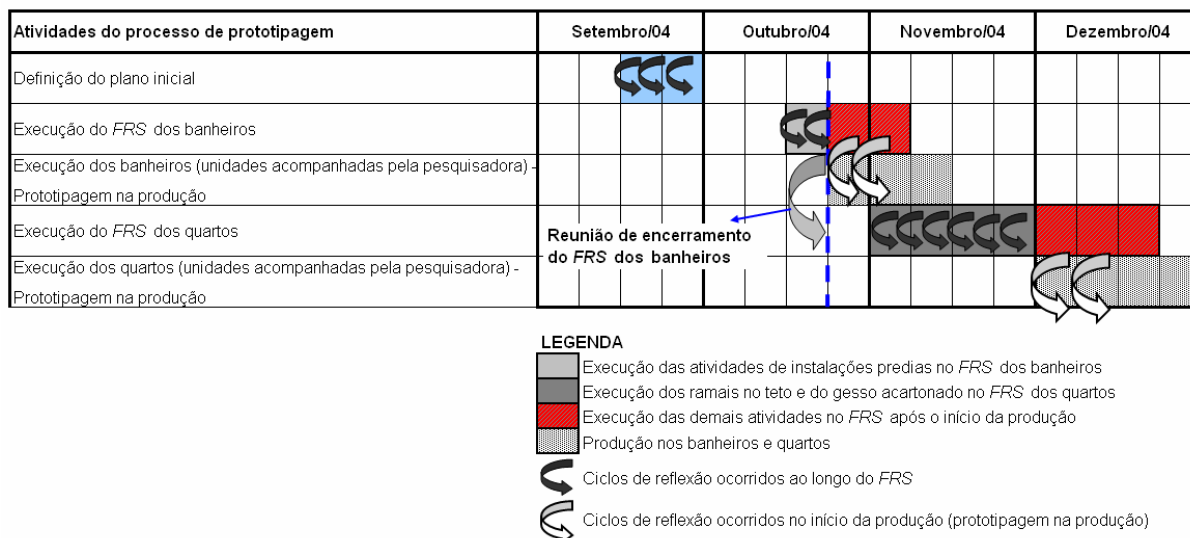
Após a conclusão do *FRS*, foram acompanhadas as primeiras unidades de produção (sete duplas de banheiros e três duplas de quartos), com a intenção de:

- (a) Verificar se os componentes do padrão estabelecidos no *FRS* eram seguidos na produção e caso não fossem, porque isso ocorria;
- (b) Identificar os componentes do padrão que necessitavam das primeiras unidades de produção (prototipagem na produção) para serem definidos.

---

<sup>32</sup> No segundo estudo a equipe foi composta pela autora desta tese, um mestrando e uma mestranda do NORIE/UFRGS.

<sup>33</sup> Os banheiros eram em alvenaria, ao passo que os quartos eram em gesso acartonado. Portanto, era necessário que fossem executados todos os serviços que utilizavam argamassa para, então, iniciar o gesso acartonado. Além disso, a estratégia de iniciar os banheiros antes permitiu que houvesse tempo hábil para o término dos serviços de cobertura, esquadrias e revestimento de fachada que eram pré-requisitos para início do gesso acartonado nos quartos.



**Figura 4.10 – Ciclos definição dos planos – ação – reflexão realizados (2º. Estudo)**

Neste segundo estudo, os ciclos de definição do plano, ação e reflexão ocorreram várias vezes ao longo da execução da primeira dupla de apartamentos (*first run*) até que o padrão fosse definido.

Na etapa seguinte, ou seja, na produção propriamente dita, antes da execução de cada dupla de quartos, era elaborado um plano de execução revisado. Ao longo da implementação destes planos, ocorriam várias discussões e reflexões da equipe. Porém, apenas ao final, ocorria a definição de um novo plano para efetivamente ser colocado em prática na dupla seguinte. Assim, ao longo das unidades subseqüentes ao FRS, houve também um refinamento dos padrões de processo.

Apesar da pressão do tempo, tendo em vista o cronograma com prazo extremamente exíguo, o refinamento do método, no caso dos quartos, ocorreu através de reflexões e discussões da equipe no próprio local e a partir da execução da tarefa, buscando métodos melhores, visando à redução do tempo de ciclo.

Neste segundo estudo, apenas uma única vez foi utilizada uma ferramenta para representação dos dados coletados. A menor frequência no uso destas ferramentas ocorreu pelas seguintes razões: (a) as pessoas que participavam das reuniões de reflexão acompanhavam os planos implementados durante todo o tempo; e (b) as reuniões de reflexão não eram programadas e aconteciam no momento em que os problemas surgiam ou que a equipe achava necessário que houvesse uma discussão conjunta.

No Quadro 4.2 são apresentadas informações sobre todas as reuniões realizadas, incluindo seu objetivo, vínculo com a etapa da obra e participantes. Não foram realizadas reuniões ao final de cada dia do *FRS*, conforme havia sido acordado na reunião de preparação. Houve apenas três reuniões formais: a reunião de preparação, a reunião de definição do plano inicial e a última delas, ao término do *FRS* do banheiro. Esta última reunião teve o objetivo de: (a) consolidar as lições aprendidas no *FRS* para serem replicadas na construção dos demais banheiros; (b) identificar empecilhos que pudessem prejudicar esta replicação e (c) discutir os problemas vivenciados no *FRS* dos banheiros que deveriam ser evitados no *FRS* dos quartos. Em função da dificuldade de reunir as pessoas que participaram desta última reunião, a mesma ocorreu após o início da produção dos demais banheiros.

**Quadro 4.2 – Reuniões formais realizadas no segundo estudo**

<b>OBJETIVO</b>	<b>VÍNCULO COM A ETAPA DE PRODUÇÃO</b>	<b>PARTICIPANTES</b>
Preparação	45 dias antes do início do <i>FRS</i>	Equipe de pesquisadores Engenheiro de contrato empresa A Engenheiro de contrato da obra Engenheiro de produção da obra Engenheiros de sub-contratadas Representantes legais das sub-contratadas
Definição do Plano Inicial	20 dias antes do início do <i>FRS</i>	Equipe de pesquisadores Engenheiro de contrato da obra Engenheiro de produção da obra Engenheiros sub-contratadas (instalações) Encarregados sub-contratadas
Reunião de Encerramento do <i>FRS</i> do Banheiro	Três dias após o término do <i>FRS</i> e início da produção dos demais banheiros	Equipe de pesquisadores Engenheiro de contrato da obra Engenheiro de produção da obra Engenheiro de contrato da empresa A Engenheiro de instalação elétrica sub-contratada Engenheiro de instalação hidráulica sub-contratada Encarregado de instalação elétrica sub-contratada Encarregado de instalação hidráulica sub-contratada Encarregado de instalação incêndio sub-contratada Encarregado de instalação de gás sub-contratada

Não foram realizadas reuniões formais, como no estudo anterior, para o fechamento destes ciclos. Houve apenas reuniões informais, realizadas no próprio local, com o objetivo de discutir problemas que surgiam ao longo do *FRS*. Participavam das reuniões informais, além dos pesquisadores, os operários de instalações elétricas e hidro-sanitárias envolvidos no *FRS*, os seus respectivos encarregados e o engenheiro de instalações hidro-sanitárias. Em apenas duas das reuniões informais houve a presença do engenheiro de produção da empresa A.



Nestas duas reuniões a discussão girou em torno de problemas com origem no projeto e que repercutiam na produção.

#### **4.6.4 Terceiro Estudo**

Neste estudo, conforme mencionado no item 4.4.4, não houve intervenção da pesquisadora e a coleta de dados se deu por intermédio de entrevistas e do acompanhamento da construção do apartamento do *FRS*.

As entrevistas foram realizadas em duas etapas e com grupos de pessoas diferentes em termos de função hierárquica dentro do processo de produção. Antes do início do *FRS* foram realizadas entrevistas com o engenheiro de produção responsável pela obra e com o proprietário da sub-empreiteira de instalações elétricas. Posteriormente e paralelamente ao acompanhamento da construção do apartamento do *FRS*, foram feitas entrevistas com cada um dos encarregados que executavam serviços nesta unidade. Os serviços executados nesta unidade restringiram-se a: gesso acartonado, instalações elétricas e instalações hidro-sanitárias.

O apartamento do *FRS* era construído pelos próprios encarregados e não por seus funcionários. Por esta razão, a construção do apartamento do *FRS* ocorria de forma intermitente, de acordo com a disponibilidade de cada encarregado.

O objetivo principal destas entrevistas com estes dois grupos de pessoas foi identificar as contribuições do *FRS* e os requisitos para sua aplicação, sob a perspectiva de diferentes agentes envolvidos na gestão da produção, gerentes e encarregados.

Ao longo do acompanhamento do *FRS*, quando necessário, a pesquisadora retornou ao engenheiro coordenador da obra para esclarecer dúvidas através de rápidas entrevistas focadas.

### **4.7 COLETA DE DADOS**

#### **4.7.1 Descrição Geral dos Dados Coletados nos Três Estudos**

A Figura 4.11 apresenta os dados coletados e as fontes de evidência empregadas nos três estudos. A seguir, são descritos os dados coletados e as fontes de evidência empregadas em cada estudo.



## 4.7.2 Primeiro Estudo

### 4.7.2.1 Dados Coletados

Os dados quantitativos durações das operações, tempo de ciclo, número de quase acidentes de trabalho (NQA)<sup>34</sup> e número de procedimentos definidos no plano inicial de segurança que não eram cumpridos (Npnc) foram coletados apenas neste estudo porque a questão inicial de pesquisa visava investigar a contribuição da prototipagem para a redução do risco e da incerteza e a empresa A associou o risco à ocorrência de acidentes e ao prazo de montagem. O risco associado ao prazo de montagem, explicava-se pelo alto custo diário de locação do guindaste utilizado para a montagem da escada.

Também foram coletados dados qualitativos (de (a) até (l) na Figura 4.11) empregados para representar os componentes do padrão, permitindo avaliar a contribuição da prototipagem para a definição dos mesmos. Estes dados foram citados ao longo das discussões da equipe nas reuniões (Quadro 4.1 e 4.2) e, conforme mencionado nos tópicos 4.3 e 4.5.1, foram reinterpretados com base no retorno à literatura e passaram a ser coletados nos demais estudos.

### 4.7.2.2 Fontes de Evidência Empregadas

#### 4.7.2.2.1 Observação Direta

Yin (2001) cita a observação direta como uma fonte de evidência a ser utilizada ao realizar uma visita de campo ao local escolhido para estudo. Segundo o mesmo autor, a observação direta permite registrar comportamentos ou condições ambientais relevantes.

Em função da natureza quantitativa dos dados durações das operações, tempo de ciclo, número de quase acidentes de trabalho (NQA) e número de procedimentos definidos no plano inicial de segurança que não eram cumpridos (Npnc), houve uma particularidade no emprego da observação direta em relação aos demais estudos. Neste estudo, além da observação direta ter permitido registrar condições ambientais e a percepção de fatos relevantes para serem discutidos nas reuniões, houve, também, coleta sistemática de dados por intermédio da cronometragem das durações das operações registradas na planilha do Anexo

---

<sup>34</sup> Cambraia (2004) define Quase Acidentes como sendo um evento instantâneo, não planejado, com potencial para gerar um acidente que, no entanto, não chega a ocorrer. De acordo com o recomendado, os trabalhadores devem assumir uma participação ativa na coleta de dados para o indicador NQA, relatando casos onde há ocorrência dos Quase Acidentes.

A. A partir dos dados desta planilha, foi elaborado o Gráfico Balanceado de Recursos (GBR), visando a ilustrar como transcorria o tempo para montagem do pavimento e, desta forma, auxiliar as discussões nas reuniões.

Os indicadores número de quase acidentes (NQA) e o Número de procedimentos definidos no plano inicial de segurança que não eram cumpridos (Npnc) foram coletados através de relatos dos operários, do encarregado, do técnico de segurança e de observações dos próprios pesquisadores. Estes indicadores e os respectivos relatos também eram registrados na planilha do Anexo A para serem discutidos nas reuniões.

O registro fotográfico foi utilizado com a finalidade de documentar o contexto no qual se realizava a pesquisa e, também, fatos importantes. Assim, constituiu-se num meio para complementar os dados coletados através das observações diretas, subsidiando as discussões nas reuniões relativas a temas específicos, como, por exemplo, a segurança do trabalho.

Os dados qualitativos coletados para representar os componentes do padrão também foram coletados por intermédio da observação direta. Estas informações eram registradas no caderno de campo como interpretações da equipe de coleta para os fatos observados em campo. As informações registradas no caderno de campo eram, por exemplo, seqüência de execução entendida pela equipe de pesquisadores, possibilidade de execução de operações paralelas, possibilidade de uso de recursos compartilhados e tempo de ciclo possível de ser cumprido.

Estiveram envolvidos com a coleta de dados na observação direta, os três integrantes da equipe de pesquisa.

#### *4.7.2.2.2 Observação Participante*

A observação participante, segundo Yin (2001) é uma modalidade especial de observação na qual o pesquisador não é apenas um observador passivo, como no caso da observação direta, podendo participar dos eventos investigados.

A observação participante foi empregada nas reuniões formais (Quadro 4.1), quando eram discutidos os problemas dos processos de produção, assim como as modificações a serem incorporadas aos novos planos. Era registrado no caderno de campo o conteúdo das discussões, principalmente, no que se referia aos dados mencionados no tópico anterior.

Em determinadas situações, relatadas no Capítulo 5, a observação participante confirmou ou esclareceu os dados provenientes da observação direta registrados no caderno

de campo, tais como, seqüências de execução e durações das operações. Em outras situações, a observação participante permitiu que, ao longo das discussões, aflorassem informações que não haviam sido detectadas na observação direta, especialmente, as restrições do método de trabalho.

### **4.7.3 Segundo Estudo**

#### **4.7.3.1 Dados Coletados**

Os dados qualitativos (de (a) até (l) na Figura 4.11) para representar os componentes do padrão que haviam sido definidos ao término do primeiro estudo foram novamente coletados neste estudo.

Os dados de (m) a (p) (replicação dos componentes do padrão na produção, referência para medidas, agilidade na comunicação dos problemas detectados e abertura para discutir problema) foram coletados para investigar como implementar a prototipagem de forma a atingir a padronização. Com exceção do dado coletado denominado replicação dos componentes do padrão na produção, cuja intenção era verificar se as decisões relacionadas aos componentes do padrão eram de fato cumpridas na implementação dos planos, os demais foram coletados apenas a partir do segundo estudo. Isto ocorreu porque, apenas após retorno a literatura realizado ao término do primeiro estudo, constatou-se a importância destes fatores para atingir a padronização.

#### **4.7.3.2 Fontes de Evidência Empregadas**

##### *4.7.3.2.1 Observação Direta*

Neste estudo, estiveram envolvidas na coleta de dados, a pesquisadora e uma mestrande do Norie. Na fase do *FRS* dos banheiros e quartos não houve cronometragem de tempo, uma vez que são comuns e necessárias as interrupções para discussões e o ato de experimentar diferentes alternativas.

Na fase de execução dos primeiros quartos, após o término do *FRS*, isto é, na prototipagem na produção, foram coletadas as equipes e as durações das operações para execução da tubulação de laje do teto. Para coletar estes dados, foi empregada a ferramenta ilustrada na Figura 4.12, na qual os próprios operários marcavam a data e horário de entrada e saída de cada dupla de quartos. Este dado era empregado para avaliar a capacidade de produção das equipes que, em conjunto com conteúdo do trabalho e o desenho do processo,

vinham sendo observados para analisar a possibilidade de redução do trabalho em progresso e do tamanho do lote de produção.

EMPRESA A		Controle de Execução INTERNAÇÃO			
Empreendimento A					
Semana		302/304			
1/12 à 6/12					
Equipe			Início	Fim	Vai para
	Elétrica	REAL PLANEJ	1/dez	1/dez	303/305
	Carlos, Eduardo				

**Figura 4.12 - Ferramenta para coleta da duração das operações para execução da tubulação elétrica do quarto (prototipagem na produção)**

Assim como no primeiro estudo, também foi utilizado o registro fotográfico para documentar o contexto no qual se realizava a pesquisa e fatos considerados importantes, tais como soluções adotadas para eliminar restrições do método que limitavam a capacidade de produção da equipe.

#### 4.7.3.2.2 Observação Participante

A observação participante ocorreu através de reuniões formais (Quadro 4.2) que ocorreram em menor frequência do que no estudo anterior e, principalmente, de reuniões informais, com a presença das pesquisadoras, do encarregado e do engenheiro de instalações elétricas.

Com base nos dados coletados nas observações diretas, tais como: conteúdo do trabalho, desenho do processo, capacidade de produção (equipe e durações), soluções de remoção de restrições do método de execução, nas reuniões informais eram discutidas as alternativas identificadas pelas pesquisadoras para redução do trabalho em progresso e do tamanho do lote.

#### 4.7.3.2.3 Entrevistas

Neste estudo, foram utilizadas entrevistas com o objetivo de confirmar os dados obtidos na observação direta e participante.

As entrevistas foram realizadas com o engenheiro de instalações hidro-sanitárias e com o encarregado de instalações elétricas da sub-contratada (Anexo B). A finalidade das

entrevistas foi obter a percepção de ambos no que dizia respeito: (a) à contribuição do *FRS* para a definição dos elementos do método padrão e (b) aos requisitos para implementar o *FRS* de forma a atingir a padronização, ou seja, de maneira que o método praticado na produção correspondesse àquele definido pelo *FRS*.

O encarregado de instalações elétricas foi selecionado para ser entrevistado porque somente este estava presente em todas as reuniões realizadas, tanto nas informais realizadas no próprio local, como nas reuniões de definição do plano inicial e de encerramento do *FRS* do banheiro. Embora o engenheiro de instalações hidro-sanitárias não estivesse presente em todas as reuniões informais, foi entrevistado porque possuía melhor capacidade de análise do que o seu encarregado para responder às questões que a pesquisadora precisava avaliar.

As entrevistas realizadas foram semi-estruturadas, sendo que se iniciava solicitando que o entrevistado citasse a contribuição e requisitos por ele percebidos e depois, o estimulava a emitir sua opinião quanto aos elementos do método padrão e aos requisitos detectados pelos pesquisadores.

#### **4.7.4 Terceiro Estudo**

##### **4.7.4.1 Dados Coletados**

Como no terceiro estudo somente a contribuição do *FRS* foi analisada, não sendo acompanhadas as primeiras unidades de produção (prototipagem na produção), não foram coletados dados relativos aos elementos do padrão que expressam o fluxo, tais como, trabalho em progresso, lote de produção e recursos compartilhados. Assim, somente conteúdo do trabalho, desenho do processo, equipe, capacidade de produção e restrições do método de execução foram coletados.

##### **4.7.4.2 Fontes de Evidência Empregadas**

###### *4.7.4.2.1 Observação Direta*

Somente a observação direta foi utilizada neste estudo, não sendo possível empregar a observação participante porque a empresa B executava o *FRS* em suas obras há cinco anos e, por isso, tinha autonomia na condução e na resolução dos problemas ao longo do processo de experimentação.

A coleta de dados na observação direta foi realizada apenas pela pesquisadora através do acompanhamento do *FRS* do início ao fim. O registro fotográfico foi empregado

com intensidade para documentar as contribuições do *FRS* nos aspectos referências para medidas e quantificação de materiais, principais benefícios obtidos pela empresa B.

#### 4.7.4.2.2 Entrevistas

No terceiro estudo, as entrevistas também foram semi-estruturadas e realizadas em duas etapas, inicialmente com o engenheiro coordenador de obras da empresa B e com o proprietário da sub-empresiteira de instalações elétricas e, posteriormente com os encarregados que executavam serviços no apartamento do *FRS*.

A entrevista realizada com o engenheiro coordenador da obra da empresa B e com o proprietário da sub-empresiteira que realizava serviços de instalações elétricas durou cerca de uma hora e foi conduzida em três etapas. Na primeira etapa foram feitos esclarecimentos gerais pelo engenheiro coordenador da obra quanto à forma de condução do *FRS* na empresa B. Em seguida, a pesquisadora solicitou que cada um emitisse seu parecer quanto às contribuições do *FRS* por eles identificadas e, finalmente, a pesquisadora estimulou cada um a emitir sua opinião quanto à contribuição do *FRS* para determinados aspectos (Anexo C).

As entrevistas efetuadas com os encarregados que executavam serviços no *FRS* tiveram um caráter informal, sendo realizadas paralelamente ao acompanhamento do *FRS* (observação direta) com o objetivo de confirmar a interpretação da pesquisadora com relação aos fatos observados (Anexos D).



## 5. ESTUDOS DE CASO

---

### 5.1 PRIMEIRO ESTUDO DE CASO

#### 5.1.1 Considerações Iniciais

Este estudo é apresentado segundo os ciclos de evolução do entendimento relativo ao processo de montagem da escada propiciados pela prototipagem na produção. Os ciclos de evolução iniciaram com uma tentativa de definição de um plano inicial e prosseguiram com as etapas de ação, reflexão e definição de um novo plano.

Ao final, discute-se a contribuição da prototipagem para reduzir riscos e incertezas e também o desdobramento das questões de pesquisa. Para tanto, apresenta-se inicialmente os resultados do estudo e, após, busca-se novamente apoio na revisão de literatura para melhor entendimento destes.

#### 5.1.2 Ciclo de Evolução do Entendimento do Processo de Montagem da Escada

##### 5.1.2.1 Definição de um plano inicial para montagem da escada

Na reunião de preparação foi estabelecida uma meta inicial de três dias de *takt-time*,  $NQA^{35}=0$  e  $Npnc^{36}=0$ . Destaca-se que o fato da atividade de montagem da escada não ter sido orçada e não constituir-se em atividade crítica, resultou em inexistência de uma demanda proveniente da atividade a jusante ou de um custo meta. Assim, a meta inicial de três dias de *takt-time* foi definida, apenas, com base na experiência do engenheiro de contrato da EM com relação a capacidade de produção da equipe (guindaste e montadores). Já, a meta de inexistência de quase acidentes foi proposta pelo engenheiro de contrato da empresa A, pois a segurança era preocupação constante da empresa em todas as suas obras.

Embora o técnico de segurança não estivesse presente nesta reunião, foi apresentado um plano de segurança por ele elaborado em conjunto com a técnica da EM que incluía: (a) um croqui para orientar o fluxo de pessoas na região de translado das peças pelo guindaste. Esta orientação do fluxo era extensiva aos operários que trabalhavam na montagem da escada; (b) uma lista de procedimentos a serem seguidos pelos montadores no manuseio das peças; (c)

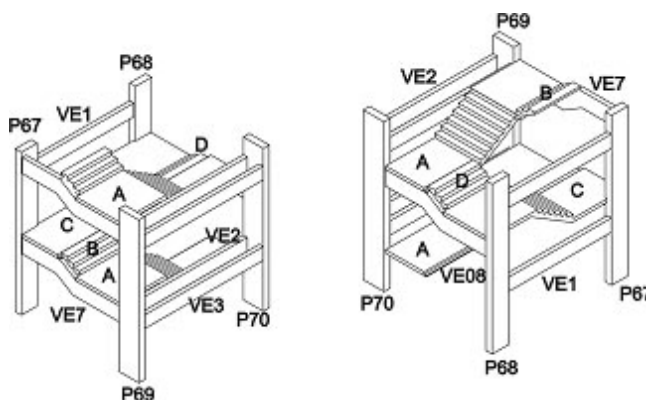
---

<sup>35</sup> Número de quase acidentes

<sup>36</sup> Número de procedimentos definidos no plano inicial de segurança não cumpridos

uma lista de procedimentos a serem seguidos pelo operador do guindaste que abrangia o trajeto de traslado das peças de forma a não invadir as áreas de vizinhança e (d) os EPIs a serem utilizados pelos operários.

Para definir o plano inicial de montagem, foi utilizado o desenho em três dimensões (3D) apresentado na Figura 5.1 como recurso para auxiliar na comunicação com o encarregado da EM. Entretanto, o encarregado alegou ser muito difícil fazer qualquer previsão para o prazo de montagem, uma vez que muitos imprevistos poderiam acontecer e que o prazo de três dias para a montagem de cada nível de pilar era aceitável. Diante desta informação, a equipe não questionou o encarregado quanto à duração das operações que compunham a atividade.



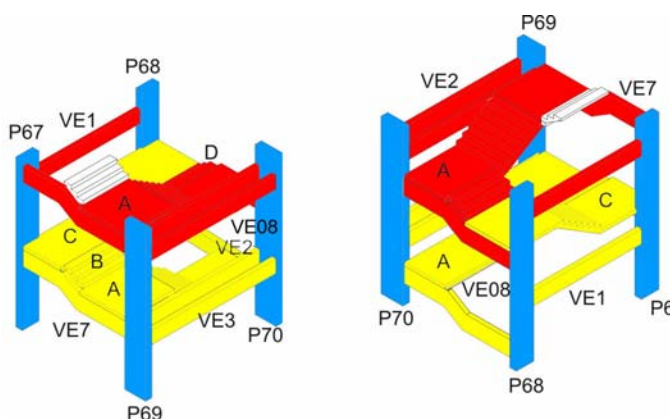
**Figura 5.1 – Desenho em três dimensões do primeiro nível da escada**

Com o desenho 3D em mãos, a equipe de pesquisadores procurou instigá-lo a explicitar uma sequência de montagem das peças e o encarregado dizia que a sequência de montagem era: (1) pilares do nível A; (2) nível A1 de vigas; (3) nível A1 de degraus; (4) nível A2 de vigas; e (5) nível A2 de degraus; e assim por diante para os demais níveis de pilares. Ainda, segundo o encarregado, as peças a serem montadas no dia seriam entregues no início da manhã ou ao final da tarde do dia anterior, no local pré-definido para estocagem junto ao guindaste, sendo indispensável elaborar um leiaute.

A dificuldade do encarregado em explicitar detalhes da montagem para as demais pessoas na reunião, devia-se ao fato do seu conhecimento apresentar-se de forma tácita. Detalhes importantes da montagem com repercussão no processo de montagem não foram mencionados pelo encarregado porque este julgava que eram do conhecimento das demais pessoas. A clareza do conteúdo do trabalho e da sequência de montagem para o encarregado da EM e o desconhecimento por parte do restante da equipe de detalhes importantes da montagem não permitiu que houvesse uma discussão mais aprofundada do método. O fato do desenho 3D ser um

recurso estático dificultou que a sequência de montagem pudesse ser discutida. Estas dificuldades de comunicação entre o encarregado e o restante da equipe impediram que o conhecimento tácito do encarregado fosse explicitado naquele momento.

Assim, a reunião de definição do plano inicial terminou com a equipe entendendo que o ciclo de montagem de três dias ocorreria da forma representada na Figura 5.2. Ou seja, no 1º dia deveria acontecer a montagem dos pilares, no 2º dia a montagem de vigas e degraus do primeiro nível e no 3º dia a montagem de vigas e degraus do segundo nível.



**Figura 5.2 – Ciclo de três dias para montagem da escada segundo o entendimento da equipe**

#### **5.1.2.2 Aplicação do plano inicial – ação nos pilares do primeiro nível**

No início da montagem do primeiro pavimento (nível A) de pilares, foi possível observar um detalhe não discutido no plano inicial: os pilares do nível A tinham as suas bases chumbadas em um nicho de concreto, ao contrário dos pilares dos demais níveis, que tinham suas bases soldadas na face superior dos pilares do nível inferior. Este detalhe resultava em limitações ao processo de montagem:

1. Para dar prosseguimento à montagem das vigas, era necessário aguardar a cura do concreto do nicho de pilares. Portanto, ao término da concretagem dos nichos não seria permitido dar continuidade na montagem de vigas, ainda que não tivesse terminado a jornada de trabalho do dia;
2. Até que terminassem as operações de obtenção do prumo, concretagem do nicho na base do pilar e escoramento do pilar, o guindaste deveria permanecer segurando a peça, ou seja, havia uma interrupção no processo de montagem.

Assim, no primeiro dia, ocorreu apenas a montagem dos quatro pilares. A Figura 5.3 mostra como transcorreu a montagem destes a partir dos tempos coletados com uso do cronômetro e representados no Gráfico Balanceado de Recursos (GBR).

Os operários que efetuavam a montagem da escada, normalmente, se distribuíam em duas equipes. A equipe de montagem II, cujos operários permaneciam junto ao estoque das peças e as preparavam para serem içadas e transladas. Posicionados na região da escada, permaneciam os operários da equipe de montagem I que efetuavam a montagem das peças na escada. No momento de confecção do concreto para o nicho no pé do pilar os dois operários da equipe de montagem II se deslocavam para a escada e, eventualmente eram auxiliados por um dos operários da equipe I.

### Primeiro dia de montagem de Pilares Nivel A - Escada 3

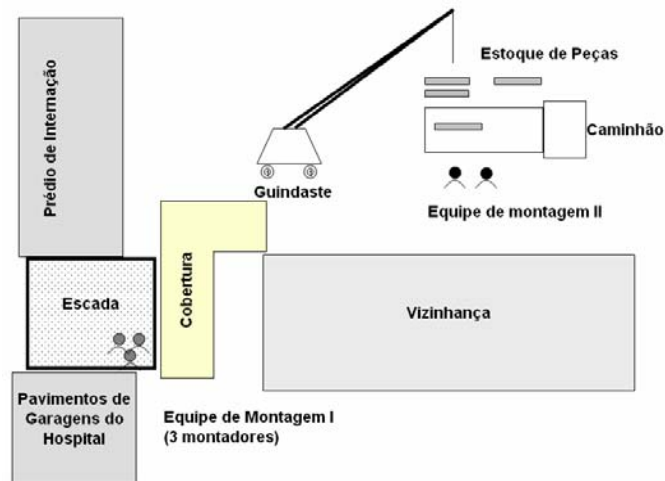
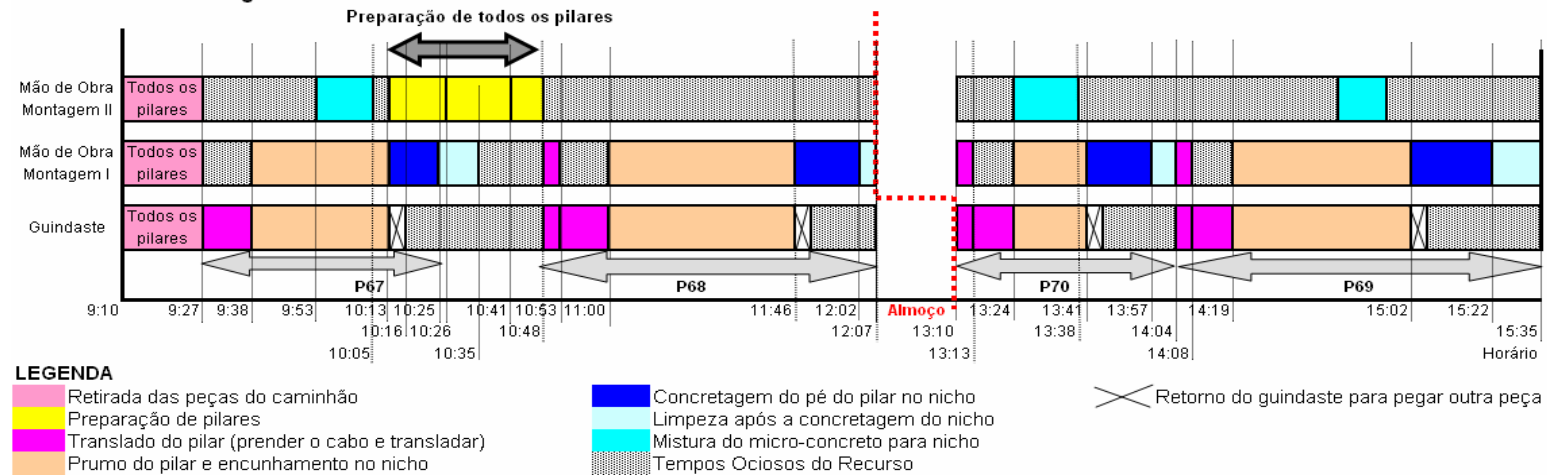


Figura 5.3 – Gráfico Balanceado de Recursos – método praticado para montagem de pilares do primeiro pavimento

### 5.1.2.3 Discussão acerca do primeiro dia - Reunião R1

Conforme mencionado no capítulo anterior, a primeira reunião de reflexão acerca dos planos implementados ocorreu ao término do primeiro dia. O GBR apresentado na Figura 5.3 foi utilizado na reunião para auxiliar nas discussões.

A pesquisadora tinha analisado previamente o GBR e havia selecionado algumas questões para serem discutidas. Porém, não as introduziu no início da reunião com o intuito de deixar que o encarregado e os engenheiros da EP conduzissem as discussões. No entanto, como após a apresentação do GBR à equipe isto não ocorreu, a pesquisadora, utilizou a ferramenta Cinco Porquês para dar início às discussões.

Tendo em vista as limitações no que se referia ao translado de peças enquanto o pilar estivesse sendo prumado, sua base concretada e o mesmo escorado, foram observadas poucas oportunidades de ações visando à redução do tempo de montagem.

Uma oportunidade estava relacionada à operação de obtenção do prumo dos pilares, que, conforme ilustrado na Figura 5.3, consumia grande parte do tempo de montagem do pilar. Durante este período não era possível envolver o guindaste em outra operação, uma vez que o mesmo permanecia segurando o pilar até que o mesmo estivesse firmemente encunhado no nicho e escorado. Esta operação era candidata à melhoria porque atualmente existem recursos tais como o nível laser que poderiam reduzir significativamente a sua duração.

Para introduzir a discussão a pesquisadora fez uma tentativa de utilizar a ferramenta Cinco Porquês, indagando:

- Porque não era adotado outro procedimento para executar o prumo do pilar?

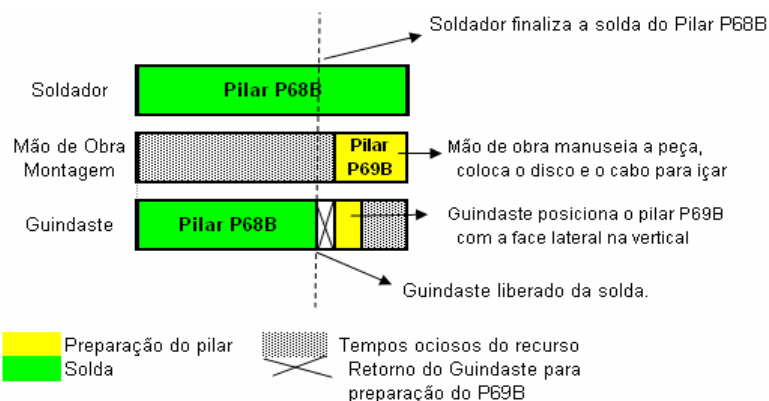
O encarregado da EM alegava ser inviável a utilização de recursos de topografia para operação de prumo do pilar, uma vez que a mesma não ocorria de forma contínua, isto é, acontecia apenas no início de cada pavimento. Quando questionado a utilizar outro método que não a topografia, o encarregado alegou desconhecimento e solicitou que os demais participantes sugerissem alternativas. Os engenheiros residentes vinculados à empresa A concordaram com os argumentos do encarregado, encerrando a discussão.

Uma outra possibilidade de melhoria foi levantada pelo próprio encarregado e referia-se à operação de preparação do pilar que neste primeiro nível foi executada em uma etapa (preparação de todos os pilares) e de forma sequencial às operações principais. A

preparação do pilar abrangia as operações de posicionamento do pilar com as faces laterais na posição vertical, colocação do disco para fixação dos cabos e içamento.

A idéia do encarregado para a montagem a partir do nível B, no qual os pilares teriam suas bases soldadas às faces superiores dos pilares do primeiro pavimento era: executar a preparação de cada pilar paralelamente ao término da execução da solda do pilar anteriormente montado, após a liberação do guindaste. Era necessária a liberação do guindaste para posicionar o pilar com as faces laterais na vertical.

Neste momento, o encarregado foi forçado a explicitar como seria executada a operação de montagem dos pilares do nível B, C e D para que a equipe entendesse sua proposta representada na Figura 5.4. Desta forma, novos detalhes não mencionados na reunião inicial com repercussão no processo foram entendidos. Não era permitido interromper a montagem de um pilar até que a base deste estivesse suficientemente solidarizada à parte superior do pilar de baixo. Ao atingir este estágio, a solda prosseguia, porém não era mais necessário que o guindaste permanecesse segurando a peça. Isto significava que, enquanto ambos os pilares não estivessem suficientemente solidarizados, o guindaste não poderia ser utilizado para qualquer outra operação;



**Figura 5.4 – Proposta do encarregado para a operação de preparação dos pilares**

#### **5.1.2.4 Aplicação do plano inicial – ação nas vigas do primeiro nível**

Ao longo da montagem das vigas do nível A de pilares, foram detectados alguns detalhes desconhecidos e outros não observados pela equipe de pesquisadores e engenheiros da empresa A. Estes detalhes tinham repercussões na sequência de montagem, que diferia em alguns pontos daquela interpretada pela equipe após explicação do encarregado da EM quando da definição do plano inicial. Os detalhes eram:

- A ligação pilar-viga exigia solda e grauteamento e não apenas solda como supunha a equipe, com exceção do encarregado da EM;
- Somente as vigas VE7 e VE8 recebiam a carga dos lances de degraus. As demais vigas (VE1, VE2 e VE3) tinham apenas a função de travamento dos pilares;
- Para a montagem dos lances de degraus C e B do nível A1, era necessário que fosse montada a viga VE8 do nível A2 (ver Figura 5.2). Portanto, a seqüência entendida por todos, com exceção do encarregado, na época da discussão do plano inicial não era viável. Ou seja, não era possível montar totalmente um nível de lances de degraus sem que se iniciasse a montagem de uma viga VE8 do nível seguinte.

Estes detalhes tinham as seguintes repercussões em termos de limitações ao processo de montagem que diziam respeito a prazos a serem cumpridos:

- Eram necessárias 12 horas de cura do graute da ligação entre pilares e vigas para que esta pudesse receber o apoio do degrau. Inclusive o encarregado da EM desconhecia esta imposição e imaginava que 2 horas fossem suficientes para a cura do graute. O encarregado obteve esta informação, casualmente, ao final da montagem de pilares, em uma consulta ao engenheiro de contrato da EM para esclarecer um problema com a viga VE8 que será mencionado a seguir;
- Havia flexibilidade na seqüência de montagem das vigas. No entanto, as vigas VE7 e VE8 deveriam estar grauteadas até o final do dia, caso contrário, não seria possível montar lances de degraus apoiados sobre as mesmas no início do dia seguinte.

Como consequência, havia o seguinte procedimento a ser cumprido:

- As vigas VE7 e VE8 deveriam ter prioridade na solda e grauteamento, garantindo que ao final do dia as mesmas estivessem grauteadas e prontas para receber o apoio dos degraus no início da manhã seguinte.

Ainda, com relação ao aspecto segurança, foram observadas limitações ao processo de montagem, tais como:

- Não eram permitidos o trânsito de pessoas e a realização de tarefas em todo o trecho do trajeto cumprido pelo guindaste ao transladar uma peça.



- Assim, não poderiam ser executadas, por exemplo, operações de solda e graute simultaneamente ao translado de uma peça.

Isto posto, apresenta-se abaixo como ocorreu a montagem do primeiro pavimento completo:

- **1º dia:** Montagem de todos os pilares do nível A;
- **2º dia:** Montagem das vigas VE7-A1, VE1-A1, VE2-A1, VE3-A1, VE8-A1;
- **3º dia:** Montagem das vigas VE7-A2, VE1-A2, VE2-A2, VE3-A2, do lance de degraus A-A1 e da viga VE8-A2;
- **4º dia:** Devido à chuva, houve apenas a montagem dos lances de degraus C-A1 e B-A1;
- **5º dia:** Montagem dos lances de degraus A-A2, D-A2 e de dois pilares do nível B.

Considerando o fato do quarto dia ter sido praticamente improdutivo devido à chuva, o primeiro pavimento, que atipicamente tinha três peças a menos que os demais pavimentos<sup>37</sup>, ocorreu em um tempo de ciclo<sup>38</sup> de quatro dias ao invés dos três definidos como meta.

A principal razão para que não fosse possível a montagem em três dias, caso não tivesse chovido, foi o fato da viga VE8-A2 não ter sido montada juntamente com as demais vigas do nível A1 no segundo dia. Conforme mencionado anteriormente, as duas vigas VE7 e VE8 deveriam ser grauteadas até o final do dia para que no dia seguinte fosse possível apoiar os degraus A e C. O fato da viga VE8-A2 ter sido montada apenas no terceiro dia implicou a necessidade do quarto dia.

O motivo que levou a viga VE8-A2 ser montada apenas no terceiro dia foi o fato da mesma retornar da fábrica onde tinha sofrido uma readequação na sua seção tardiamente. A necessidade de readequação na seção, por sua vez, foi decorrência de ter sido invertida a altura dos consoles nos pilares P68 e P70 na época da produção destes. A Figura 5.5 ilustra a viga VE8 do nível A1 já montada após a readequação da seção.

<sup>37</sup> O primeiro pavimento tinha um lance de degrau LB, LC e LD a menos que os demais pavimentos.

<sup>38</sup> Destaca-se que o tempo de ciclo e o tempo para montagem de um pavimento coincidiam, uma vez que, por questões técnicas e de segurança, não era possível iniciar a montagem de um pavimento sem ter terminado o anterior. Ou seja, a cada 3 dias se iniciava um novo pavimento porque o tempo para a montagem de um pavimento era de 3 dias.



**Figura 5.5 – Readequação da viga VE8**

#### **5.1.2.5 Discussão acerca do primeiro pavimento e definição do novo plano – Reunião R2**

A reunião para discussão do primeiro pavimento ocorreu ao final do terceiro dia de montagem. Com base no acompanhamento em campo, a equipe de pesquisadores havia avançado no entendimento do processo ao ponto de entender qual era o conteúdo do trabalho, isto é, o conjunto de operações que compunha o processo de montagem da escada, e qual era a sequência das operações.

Este fato facilitou a troca de idéias com o encarregado e, ao final da reunião, a equipe de pesquisadores elaborou um desenho do processo com base na conversa com o encarregado. Na verdade, a elaboração do desenho do processo foi um exercício de confirmação do entendimento adquirido pela equipe até aquele momento. Nesta reunião, chegou-se a um consenso a respeito do processo de montagem.

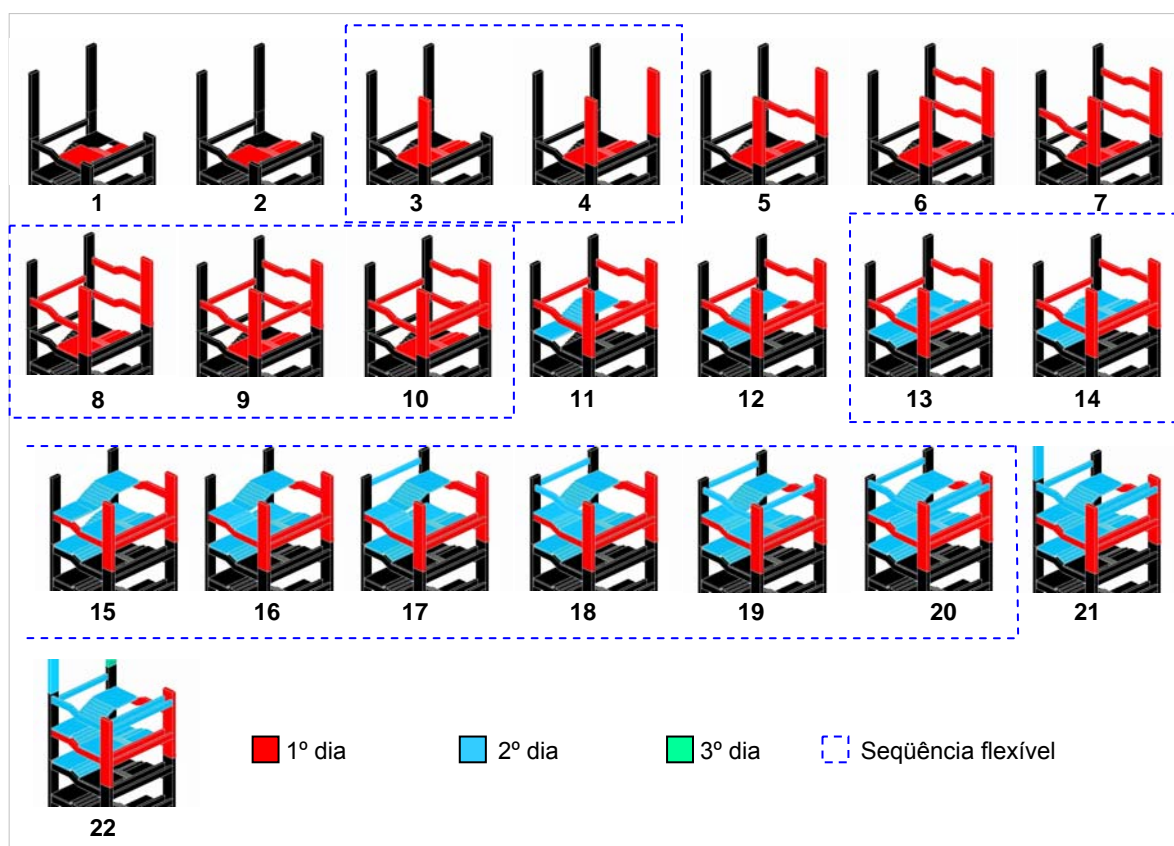
Na discussão ficou claro que a idéia inicial do encarregado era priorizar o translado, solda e graute das vigas VE7-A1, VE8-A1 e VE8-A2 com base no seu conhecimento. Porém, a informação de que eram necessárias 12 horas e não apenas 2 horas para a cura fez com que ele entendesse que era imprescindível que o grauteamento ocorresse até o final do segundo dia para que fosse possível o tempo de ciclo de três dias.

Para elaborar o desenho do processo deste novo plano, a equipe utilizou as seguintes informações:

- Conteúdo do trabalho com base nas observações no local e nos esclarecimentos junto ao encarregado;
- Sequência de montagem das peças, conforme mostra a Figura 5.6, definida, também, com base nas observações no local e nos esclarecimentos junto ao

encarregado. Havia flexibilidade na seqüência de montagem dos dois pilares (*slides* 3 e 4), das vigas (*slides* 8 a 10) e das vigas e degraus (*slides* 13 a 20);

- Duração das operações. Esta informação foi adquirida através da coleta de dados realizada até aquele momento e reforçada com base na conversa com o encarregado, uma vez que havia ainda poucos dados coletados.



**Figura 5.6 – Seqüência de montagem das peças para um pavimento**

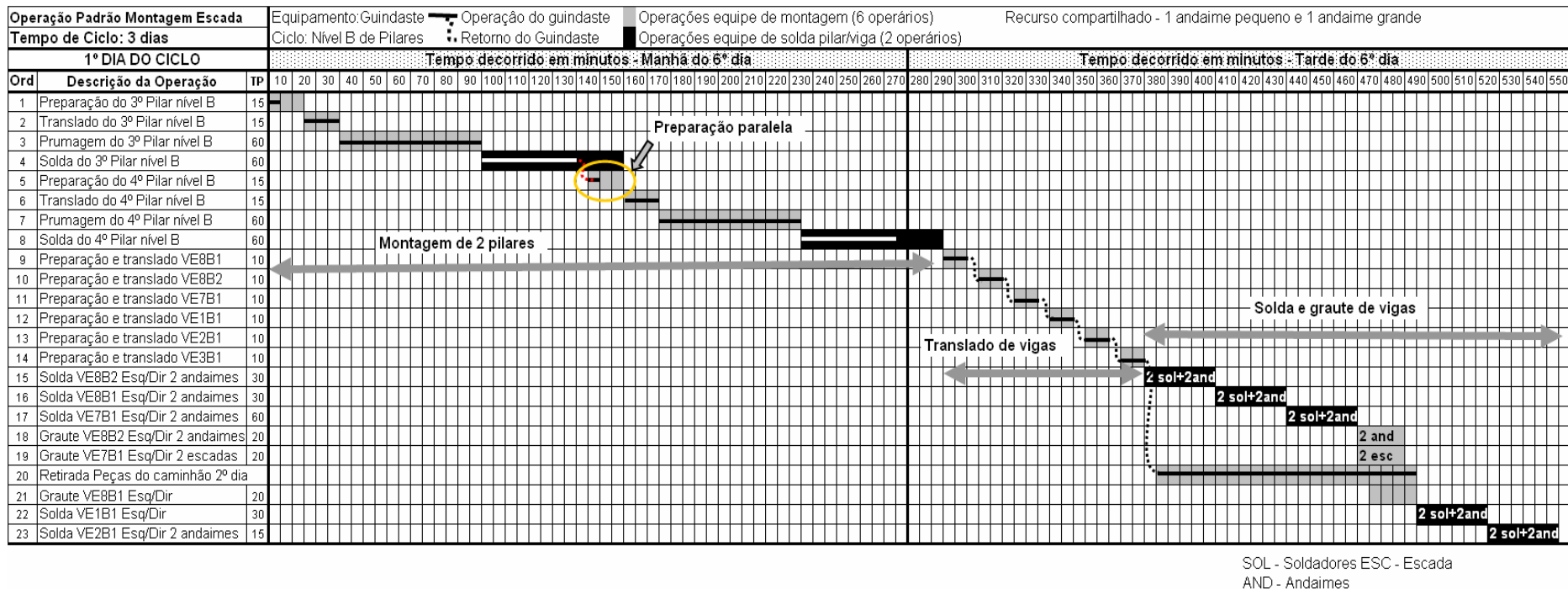
O desenho do processo para o plano proposto está apresentado nas Figuras 5.7 e 5.8. Na coluna da esquerda consta o conteúdo do trabalho (conjunto de operações) para a montagem de um pavimento. Foram mantidos os recursos empregados (equipe de montagem, soldadores e andaimes) no primeiro pavimento e a proposta atendia o cumprimento dos procedimentos identificados até então e relacionados à:

- Segurança no translado das peças, não permitindo que outra operação fosse executada simultaneamente;
- Segurança na execução da solda do pilar com o apoio do guindaste;
- Graute das vigas VE7 e VE8 executado até o final do primeiro dia para permitir a montagem dos lances de degraus A e C no dia seguinte;

- Preparação de pilares simultaneamente ao término da solda no pilar anterior, conforme proposta do encarregado na reunião R1.

O desenho do processo, apresentado nas Figuras 5.7 e 5.8, resultava em um tempo de ciclo de dois dias e meia manhã. O fato de dois pilares do nível B já terem sido montados no quinto dia, possibilitava: executar os dois pilares restantes do nível B e soldar e grautear as vigas VE7 e VE8 no sexto dia (FIGURA 5.7) e, ainda, buscar o fechamento do segundo pavimento completo e mais dois pilares do nível C até o final do sétimo dia. Caso isto fosse atingido, o *takt-time* passaria a ser de apenas dois dias ao invés da proposta inicial de três dias. Porém, de acordo com a Figura 5.8, considerando as durações mencionadas na seção anterior, seria necessário usar uma parte da manhã do oitavo dia. A idéia era seguir o plano apresentado nas Figuras 5.7 e 5.8 e, conforme o andamento da montagem, buscar a meta de fechar o conteúdo de trabalho previsto para a manhã do oitavo dia já no final do sétimo dia.

Observa-se que no segundo dia de montagem (nível A1 de vigas) foi registrado um quase acidente de trabalho com a tábua utilizada pelo operário para guiar a peça translada até sua posição final. Também foi registrada uma transgressão à regra estabelecida no plano elaborado pelo técnico de segurança antes do início da montagem no que dizia respeito ao traslado de peças sobre o terreno vizinho. Os dois registros foram efetuados pelo auxiliar de pesquisa e, segundo o relato deste, no momento das ocorrências houve uma discussão com finalidade corretiva, entretanto, estes fatos não foram relatados nas reuniões.



**Figura 5.7 – Proposta elaborada para tempo de ciclo de três dias – 1º dia de montagem**

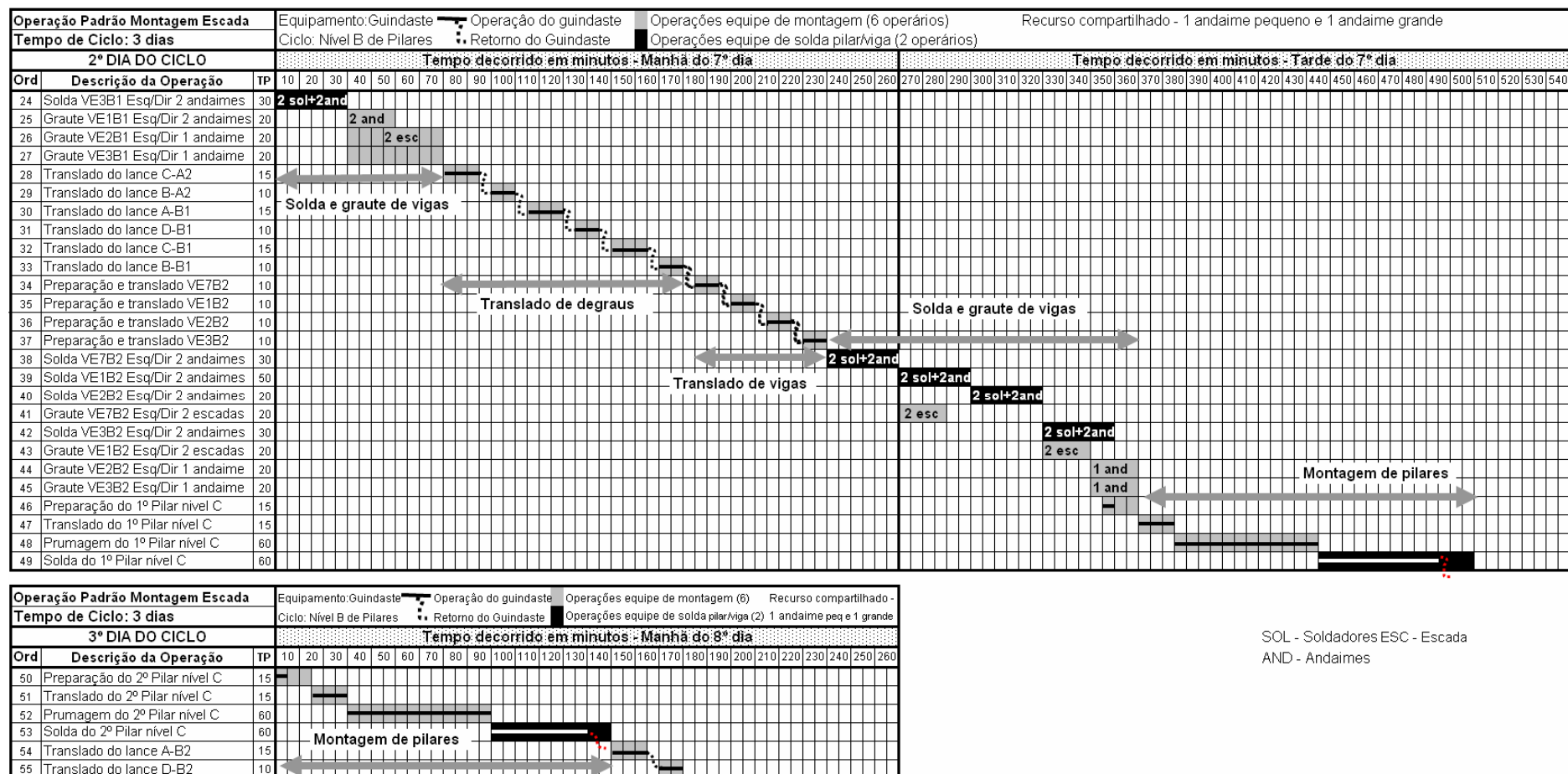


Figura 5.8 – Proposta elaborada para tempo de ciclo de três dias – 2º e 3º dia de montagem

### 5.1.2.6 Aplicação do plano no segundo pavimento

A execução do segundo pavimento iniciou cumprindo o conteúdo de trabalho previsto para aquele dia, conforme mostra a Figura 5.9, com exceção das vigas VE2B1 e VE3B1 que foram montadas apenas no sétimo dia. Esta diferença em relação ao plano ocorreu porque estas peças foram enviadas da fábrica para obra apenas no final do sexto dia, sendo montadas apenas no dia seguinte. No entanto, não houve prejuízo para a sequência das operações, já que as mesmas não apoiavam lances de degraus.

Operação Padrão Montagem Escada		
Tempo de Ciclo: 3 dias		
6º DIA		
Ord Pla	Descrição da Operação	Ord Exe
1	Preparação do 3º Pilar nível B	1
2	Translado do 3º Pilar nível B	2
3	Prumagem do 3º Pilar nível B	3
4	Solda do 3º Pilar nível B	4
5	Preparação do 4º Pilar nível B	5
6	Translado do 4º Pilar nível B	6
7	Prumagem do 4º Pilar nível B	7
8	Solda do 4º Pilar nível B	8
9	Preparação e translado VE8B1	9
10	Preparação e translado VE8B2	10
11	Preparação e translado VE7B1	11
12	Preparação e translado VE1B1	12
13	Preparação e translado VE2B1	21
14	Preparação e translado VE3B1	23
15	Solda VE8B2 Esq/Dir 2 andaimes	13
16	Solda VE8B1 Esq/Dir 2 andaimes	14
17	Solda VE7B1 Esq/Dir 2 andaimes	15
18	Graute VE8B2 Esq/Dir 2 andaimes	16
19	Graute VE7B1 Esq/Dir 2 escadas	17
20	Retirada Peças do caminhão	
21	Graute VE8B1 Esquerda/Direita	18
22	Solda VE1B1 Esquerda/Direita	19

Figura 5.9 – Conteúdo de trabalho executado em relação ao previsto (sexto dia)

Neste pavimento não houve mais atraso na entrega das vigas VE8 que sofriam readequação de seção, no entanto, ocorreram interrupções freqüentes na montagem da maioria das vigas montadas no nível B1. As interrupções foram decorrentes da

necessidade de ajustes no comprimento e espaçamento da ferragem da viga que era soldada no console do pilar. A Figura 5.10 ilustra esta ferragem e as Figuras 5.11 e 5.12 mostram a necessidade de ajuste no comprimento e espaçamento respectivamente.

Embora não houvesse encerrado a montagem do segundo pavimento, os pesquisadores solicitaram uma reunião para discutir a respeito das interrupções porque havia receio de que este fato prejudicasse o plano estabelecido.



Ferragem de solda

**Figura 5.10 – Ferragem de solda**



**Figura 5.11 – Ajuste no comprimento da ferragem**



**Figura 5.12 - Ajuste no espaçamento da ferragem**

#### **5.1.2.7 Reflexão acerca do primeiro dia do segundo pavimento - Reunião R3**

Esta reunião ocorreu ao final do sexto dia com a presença do engenheiro de contrato e do engenheiro de produção da empresa A. Os tempos cronometrados e registrados na planilha de dados (ANEXO A) indicavam que, ao longo da montagem das vigas do nível B1, houve 50 minutos de tempo parado do guindaste aguardando a execução dos ajustes na ferragem das vigas.

Ficou acordado com o encarregado da EM que os ajustes na ferragem de todas as vigas seriam executados na fábrica, antes do envio das peças para a obra. Como as vigas do nível B2 já se encontravam armazenadas no canteiro, foi decidido que os ajustes naquelas vigas seriam efetuados antes do início da jornada de trabalho do dia seguinte.



#### **5.1.2.8 Continuação da aplicação do plano no segundo pavimento**

Apesar do acordo com o encarregado, as vigas do nível B2 sofreram ajustes uma a uma, antes de serem transladas e, em seguida, ao serem posicionadas no vão. A quantidade de tempo perdido efetuando novos ajustes foi ainda maior do que no nível B1 (FIGURA 5.13). No total, considerando o nível B1 e B2 de vigas, foram consumidos 226 minutos (ver Planilha de dados Anexo A), correspondendo a quase meio dia de jornada de trabalho.

### Segundo dia de montagem de Vigas do Nível B - Escada

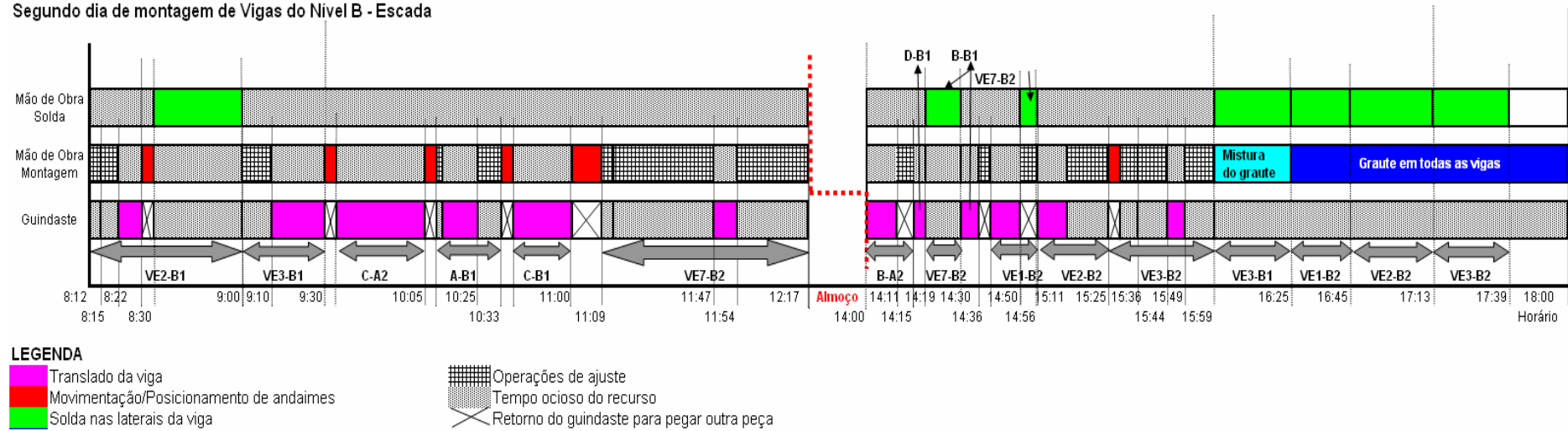


Figura 5.13 - Gráfico Balanceado de Recursos – método praticado para montagem das vigas do segundo pavimento

Em função desta perda de tempo, a montagem do primeiro pilar do nível C que, segundo o plano da Figura 5.8, deveria acontecer até o final do sétimo dia, ocorreu apenas no oitavo dia, juntamente com os outros três pilares do nível C. A Figura 5.14 apresenta o conteúdo do trabalho realizado no sétimo dia em relação ao previsto no plano.

Operação Padrão Montagem Escada		
Tempo de Ciclo: 3 dias		
7º DIA		
Ord Pla	Descrição da Operação	Ord Exe
23	Solda VE2B1 Esq/Dir 2 andaimes	22
24	Solda VE3B1 Esq/Dir 2 andaimes	35
25	Graute VE1B1 Esq/Dir 2 andaimes	20
26	Graute VE2B1 Esq/Dir 1 andaime	39
27	Graute VE3B1 Esq/Dir 1 andaime	40
28	Translado do lance C-A2	24
29	Translado do lance B-A2	28
30	Translado do lance A-B1	25
31	Translado do lance D-B1	29
32	Translado do lance C-B1	26
33	Translado do lance B-B1	31
34	Preparação e translado VE7B2	27
35	Preparação e translado VE1B2	32
36	Preparação e translado VE2B2	33
37	Preparação e translado VE3B2	34
38	Solda VE7B2 Esq/Dir 2 andaimes	30
39	Solda VE1B2 Esq/Dir 2 andaimes	36
40	Solda VE2B2 Esq/Dir 2 andaimes	37
41	Graute VE7B2 Esq/Dir 2 escadas	41
42	Solda VE3B2 Esq/Dir 2 andaimes	38
43	Graute VE1B2 Esq/Dir 2 escadas	42
44	Graute VE2B2 Esq/Dir 1 andaime	43
45	Graute VE3B2 Esq/Dir 1 andaime	44
46	Preparação do 1º Pilar nível C	45
47	Translado do 1º Pilar nível C	46
48	Prumagem do 1º Pilar nível C	47
49	Solda do 1º Pilar nível C	48
50	Preparação do 2º Pilar nível C	49
51	Translado do 2º Pilar nível C	50
52	Prumagem do 2º Pilar nível C	51
53	Solda do 2º Pilar nível C	52
54	Preparação do 3º Pilar nível C	53
55	Translado do 3º Pilar nível C	54
56	Prumagem do 3º Pilar nível C	55
57	Solda do 3º Pilar nível C	56
58	Preparação do 4º Pilar nível C	57
59	Translado do 4º Pilar nível C	58
60	Prumagem do 4º Pilar	59
61	Solda do 4º Pilar nível C	60

7º DIA

6º DIA

7º DIA

8º DIA

Figura 5.14 – Conteúdo de trabalho executado em relação ao previsto para sétimo dia

#### **5.1.2.9 Discussão acerca do segundo pavimento e definição do novo plano - Reunião R4**

A reunião de reflexão acerca do segundo pavimento ocorreu no final do oitavo dia, isto é, após o término do segundo pavimento e da montagem dos 4 pilares do nível C. Nesta reunião, da mesma forma que na primeira, foi apresentado o GBR da Figura 5.13.

A apresentação destes dados era indispensável para a equipe de pesquisadores e para o encarregado que acompanhavam a montagem no local. No entanto, a intenção ao apresentar estes dados era chamar a atenção do engenheiro de produção e do engenheiro de contrato da empresa A dos impactos causados pelo problema da ferragem de solda das vigas, já que ambos não vinham acompanhando a montagem da escada no local. Porém, os engenheiros da empresa A não estavam presentes nesta reunião.

Estava presente, além do encarregado que vinha acompanhando a montagem até aquele momento, um outro funcionário da EM que iria assumir o posto de encarregado a partir do dia seguinte.

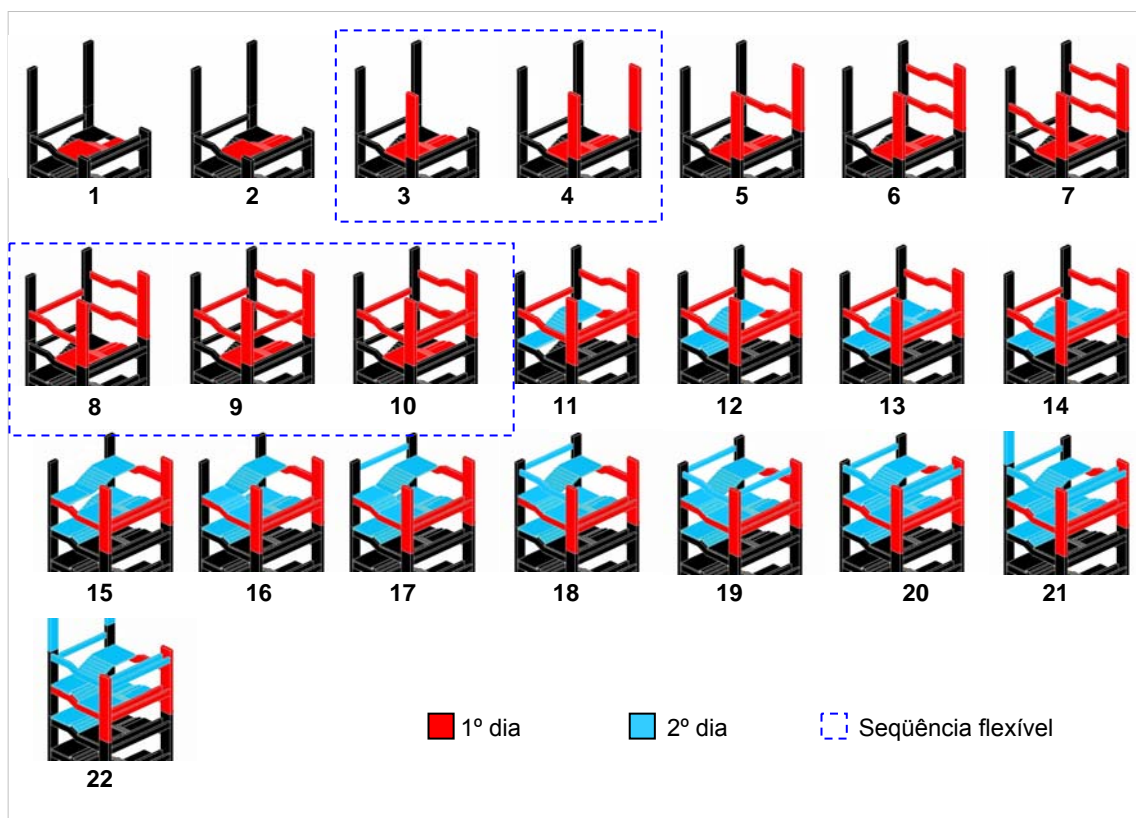
O questionamento dos pesquisadores quanto à execução dos ajustes no momento do translado e, em seguida, no posicionamento da viga era no sentido de entender porque não era possível efetuá-los previamente, considerando que as peças eram pré-moldadas. O encarregado explicou que isto era possível e que seria efetuado nas próximas peças mediante a sua instrução.

Ao final do segundo pavimento, ficou claro para os pesquisadores e para o encarregado que vinha acompanhando a montagem que:

- O tempo de ciclo de três dias para um pavimento era facilmente cumprido, uma vez que mesmo com 226 minutos consumidos com ajustes, a execução do segundo pavimento ocorreu em três dias, incluindo a montagem de seis pilares e não apenas quatro;
- A execução da solda das vigas VE7 e VE8, tanto de manhã quanto ao final da tarde, resultava na mesma situação, isto é, a montagem dos lances de degraus A e C somente no dia seguinte. Sob o ponto de vista do trabalho em progresso, era melhor que estas vigas fossem soldadas a tarde já que os lances A e C não poderiam ser montados neste mesmo dia. Para que fosse possível um ciclo de dois dias, era imprescindível que a solda das vigas VE7

e VE8 ocorresse até o final do primeiro dia. Iniciar um ciclo montando quatro pilares impedia que ainda houvesse tempo para execução da solda e graute destas vigas neste primeiro dia, o que levava automaticamente a montagem do pavimento para três dias;

- O tempo de ciclo de apenas dois dias requeria que o primeiro dia iniciasse com apenas dois pilares restantes do pavimento a ser montado e que o segundo dia encerrasse com os dois primeiros pilares do pavimento seguinte. Ou seja, nesta etapa de entendimento do processo, ficou claro que para o tempo de ciclo de dois dias, o lote de produção de um dia não poderia incluir a montagem de quatro pilares (ver Figura 5.15);
- Embora houvesse flexibilidade para montagem das vigas e degraus, conforme mencionado anteriormente, nesta reunião, o encarregado explicitou que os degraus dos *slides* 13 a 16 da Figura 5.15 eram montados antes das vigas dos *slides* 17 a 20, não apenas porque facilitava o posicionamento das peças sem causar danos umas às outras, mas principalmente, porque os degraus serviam de apoio para os andaimes no momento de execução de solda das vigas. Esclarece-se que estes andaimes tinham limitação de altura em função da segurança (estabilidade do andaime). Portanto, uma nova restrição foi identificada em função da segurança e, como consequência, um procedimento a ser cumprido;
- Os 226 minutos perdidos com ajustes provavelmente não teriam sido suficientes para que dois dos quatro pilares montados no oitavo dia pudessem ser montados até o final do sétimo dia. Portanto, seria necessária, ainda, alguma melhoria para que o ciclo fosse de dois dias;
- O fato de ter encerrado o sétimo dia sem ter montado dois pilares do nível C, deixando os quatro pilares para o oitavo dia, conforme mencionado anteriormente, dificultava que o terceiro pavimento (nível C) pudesse ser montado em apenas dois dias, acentuando a necessidade de melhoria.



**Figura 5.15– Sequência de montagem das peças de um pavimento para o tempo de ciclo de dois dias**

O plano para montagem do terceiro pavimento está representado nas Figuras 5.16 e 5.17. Como os quatro pilares no nível C já haviam sido montados até o final do oitavo dia, o nono dia iniciava com a montagem das vigas do nível C1. Na Figura 5.16 é possível observar que era melhor que as vigas VE7 e VE8 fossem grauteadas ao final da tarde, já que os lances A e C poderiam ser montados apenas no dia seguinte, evitando que houvesse praticamente uma tarde inteira inativa.

Neste plano apresentado na Figura 5.16 e 5.17 faz-se uma última tentativa de encerrar o dia com dois pilares do próximo pavimento (nível D). A intenção era no último pavimento, testar a proposta estabelecida pelos pesquisadores e pelo encarregado de que, iniciando a montagem do pavimento com apenas dois pilares daquele nível, era possível montá-lo em dois dias.

A Figura 5.17 mostra que o plano para conseguir fechar o dia com os dois pilares do nível D montados, incluía:

- Efetuar os ajustes necessários na ferragem de solda das vigas na fábrica, uma vez que as durações adotadas previam a inexistência de ajustes;

- Utilizar três soldadores e três andaimes, a partir do décimo dia de montagem, ao invés de dois soldadores e dois andaimes como vinha ocorrendo.

Esta última estratégia foi cogitada porque apenas nas operações de solda e graute era possível adotar o paralelismo no desenho do processo (simultaneidade nas operações). A Figura 5.17 mostra que a utilização de três soldadores permitia que mais de uma viga pudesse ser soldada ao mesmo tempo e o emprego de três andaimes possibilitava que, também, o grauteamento ocorresse simultaneamente ao graute, a partir da sincronização no uso dos andaimes. No entanto, nesta nova proposta, a execução da solda e do graute das vigas do nível B2 acontecia em 100 minutos enquanto que na anterior (ver Figura 5.8), o tempo consumido era de 130 minutos.

Além do ganho ser pouco representativo, o encarregado alegava que a utilização de mais um andaime prejudicaria o fluxo dos operários, expondo-os a risco de acidentes. Os pesquisadores argumentaram que, uma vez que o andaime era utilizado apenas para serviços efetuados na extremidade das vigas (solda e graute), seria mais interessante adotar 3 andaimes pequenos ao invés de um grande e um pequeno como vinha ocorrendo. O encarregado concordou que, de fato, seria interessante que fossem utilizados até 4 andaimes pequenos, 2 em cada extremidade de vigas opostas, permitindo que as operações de solda das vigas VE8 e graute da viga VE7 fossem executadas simultaneamente. Entretanto, ele contra argumentou que enquanto continuasse havendo ajustes nas peças no momento da montagem, qualquer tentativa de melhoria poderia ser em vão.

Outro aspecto negativo ao utilizar três soldadores ao invés de dois era o aumento das horas ociosas destes operários que já era elevada conforme mostra a Figura 5.13. Entretanto, acelerar a operação de solda, significava mais tempo disponível ao final do segundo dia e, conseqüentemente, a chance de montar dois pilares do nível seguinte, fechando o pavimento em dois dias. Portanto, ainda que houvesse ociosidade dos soldadores, o ganho de um dia na locação do guindaste era vantajoso sob o ponto de vista do custo.

Uma mudança que traria maiores benefícios em termos de redução do tempo de ciclo seria a utilização de operários polivalentes, isto é, de operários que fossem habilitados para executar a montagem e, também, para efetuar a solda. Esta solução permitiria que quatro soldadores, um em cada andaime, efetuasse a solda em duas vigas

simultaneamente (2 operários em cada viga, um em cada extremidade da mesma). A redução do custo, neste caso, se daria não apenas pelo menor tempo de ciclo e, conseqüentemente, menor prazo de montagem da escada (locação do guindaste), mas, também, porque diminuía o tempo de ociosidade da mão de obra (montadores e soldadores). No entanto, esta proposta não foi cogitada em reuniões com o encarregado, uma vez que não era possível de ser colocada em prática neste empreendimento.

Ainda assim, o nono dia de montagem iniciou com o propósito de encerrar o décimo dia de montagem com dois pilares do nível D montados, conforme o plano definido nesta reunião.



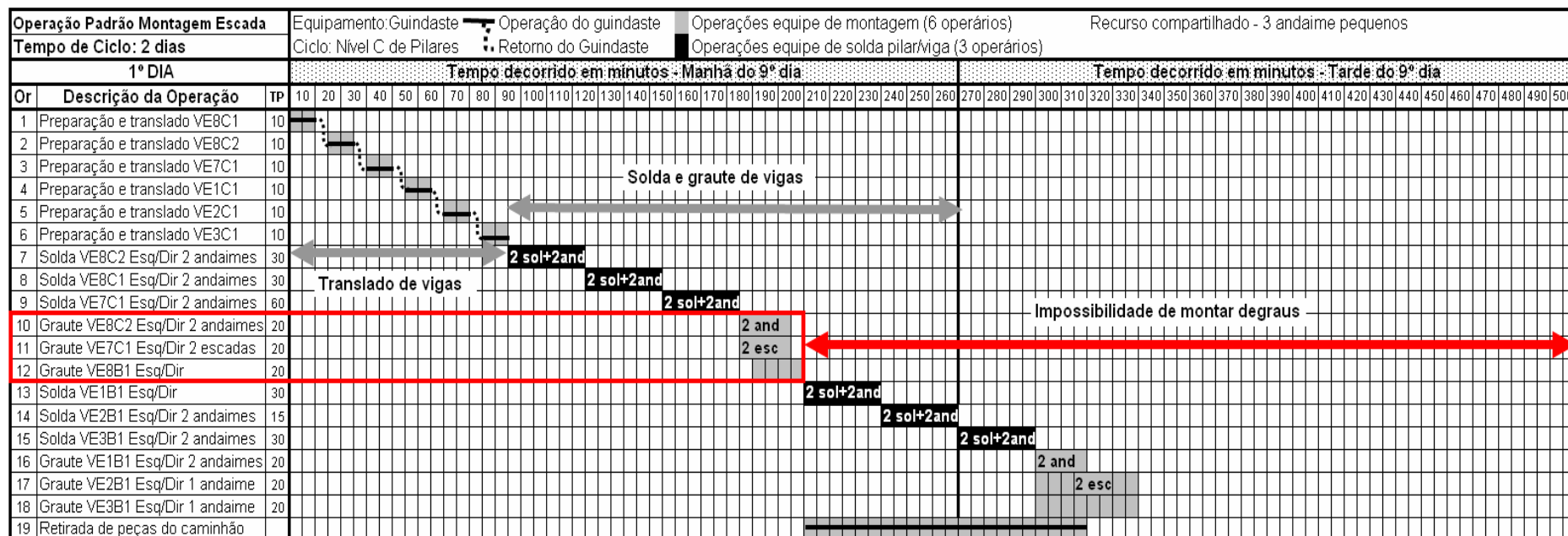
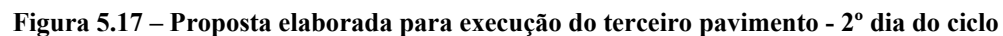


Figura 5.16 – Proposta elaborada para execução do terceiro pavimento - 1º dia do ciclo



#### **5.1.2.10 Aplicação do plano no terceiro pavimento**

Conforme esperado, no nono dia ocorreu apenas a montagem das vigas do nível C1. Porém, neste mesmo dia, apenas a viga VE7 foi soldada e grauteada, sendo as demais trabalhadas somente no décimo dia, os degraus e vigas do nível C2 montadas no décimo primeiro e os pilares, no décimo segundo.

Os principais fatores que contribuíram para que o plano definido em conjunto com os encarregados não fosse perseguido com afinco por ambos foram:

- (a) Apesar da instrução do encarregado aos funcionários da fábrica, ainda houve necessidade de ajustes, porém, com menor impacto em termos de tempo ocioso do guindaste e da equipe. Nas vigas do nível C1 e C2 foram consumidos 76 minutos com ajustes ao longo da montagem. A recorrência de interrupções causava desmotivação por parte do encarregado e operários para cumprir um plano desafiador;
- (b) O encarregado atual era menos experiente do que o anterior e assumiu a montagem da escada em uma fase de dificuldade, tendo em vista os recorrentes problemas com ajustes nas vigas. O encarregado anterior tinha pouca disponibilidade para apoiá-lo porque estava assumindo outra obra;
- (c) O décimo dia de montagem caiu num sábado, dia em que a jornada de trabalho era apenas pela manhã.

Diante desta situação, os pesquisadores deram continuidade à coleta de dados apenas até a montagem do nível D1 de vigas. Ao término deste estudo, houve uma reunião de apresentação dos resultados do estudo a toda a diretoria e engenheiros da empresa A.

#### **5.1.2.11 Reunião de apresentação dos resultados para a empresa A**

Esta reunião foi uma oportunidade para ambos, pesquisadora e empresa A, refletirem sobre a contribuição da prototipagem para a redução do prazo e do custo e para a prevenção de acidentes.

A pesquisadora optou por apresentar os resultados segundo os ciclos de definição dos planos, ação e reflexão ocorridos ao longo da montagem, conforme descrito nos itens anteriores. O objetivo ao adotar esta estratégia para a apresentação dos resultados era reconstituir todo o processo, de tal forma que as pessoas da empresa A entendessem: (a) como

a prototipagem na produção poderia ter auxiliado a reduzir o prazo e o custo de montagem da escada e melhorar a segurança; e (b) quais as condições para que este benefício fosse efetivado.

Apenas após a apresentação dos resultados do estudo pelos pesquisadores, ficou claro para a empresa A, inclusive para o engenheiro de produção e para o engenheiro de contrato da obra, que a prototipagem na produção havia contribuído para o entendimento do processo de montagem da escada de forma evolutiva, a ponto de permitir:

- O estabelecimento de uma proposta, envolvendo uma meta que reduzia o tempo de ciclo e um método para atingi-la;
- O entendimento de detalhes do método que, se não cumpridos, comprometiam a meta estabelecida;
- A identificação de limitações ao processo de montagem não conhecidas anteriormente. As limitações estavam relacionadas à qualidade técnica na execução do serviço e à segurança.

A redução do tempo de ciclo satisfazia o propósito de diminuir o prazo de montagem e o custo de locação do guindaste. O fato da prototipagem ter permitido identificar limitações ao processo associadas à segurança também satisfazia o outro propósito estabelecido pelo gerente de contrato.

Destaca-se que a palavra método foi usada com frequência nas discussões nesta reunião. Embora para a pesquisadora, ainda não estivesse claramente definida a abrangência do método. Na reunião, a palavra método era utilizada para expressar o conjunto de considerações de cada proposta apresentada, tais como a seqüência das operações, a simultaneidade na execução da solda e do graute, a quantidade de soldadores e andaimes e a imposição de execução do graute das vigas VE7 e VE8 até o final do primeiro.

Outro ponto assimilado pela empresa A estava relacionado às condições para que este entendimento ocorresse de forma evolutiva para os gerentes:

- Problemas associados ao produto e com repercussão no processo de produção devem ser previamente resolvidos. Os ajustes na ferragem de solda da viga foram decorrentes de falhas no projeto e a necessidade de adequação de seção da viga VE8 foi gerada por falha na produção do pilar;

- Participação ativa dos gerentes, entendida como necessária, na medida em que garante a tomada de decisão e a disponibilidade dos *inputs* para implementação dos planos definidos.

Neste estudo, a indisponibilidade do *input* materiais/componentes que se constitui em um dos sete *inputs* citados por Koskela (1999) e discutidos no capítulo 2, ocorreu com a entrega de vigas com espaçamento e comprimento inadequados da ferragem de solda. Esta situação impedia a execução da tarefa de acordo com os planos definidos e interrompia o ciclo definição do plano, ação e reflexão do qual a aprendizagem da equipe dependia.

A exploração de outros recursos de prototipagem, empregados em etapas anteriores à produção, tais como, a prototipagem virtual através do 3D e o *FRS* também foi considerada necessária, tendo em vista o alto grau de incerteza que a empresa A estava sujeita. Este requisito encontra respaldo na literatura, conforme mencionado no item 3.2.4.

Estas condições foram consideradas importantes pela empresa A para que, no estudo seguinte, houvesse maior proveito das contribuições provenientes da prototipagem.

A seguir, são apresentados os resultados do estudo e o fechamento do ciclo de aprendizagem da pesquisadora para prosseguir na pesquisa.

### **5.1.3 Consolidação dos Resultados**

#### **5.1.3.1 Informações do processo de produção discutidas na prototipagem na produção**

Os ciclos de definição do plano, ação e reflexão ocorridos ao longo da prototipagem na produção propiciaram a discussão de uma série de informações relacionadas ao processo de produção que eram desconhecidas pela equipe de pesquisadores e engenheiros da empresa A no início da montagem da escada.

As informações que emergiram ao longo da prototipagem na produção foram: (a) conjunto de operações que compunha o processo de montagem; (b) limitações do processo que, se não fossem devidamente consideradas, implicavam penalidades em termos de qualidade técnica e de segurança; (c) seqüência e duração das operações; e (d) capacidade de produção. O refinamento no entendimento destes elementos permitiu que o método construtivo fosse revisado e novas metas fossem estabelecidas para o mesmo, contemplando especificamente as seguintes definições: (e) mudanças na operação de preparação dos pilares; (f) definição do lote de peças que deveria ser montado em cada dia para que o tempo de ciclo

fosse de apenas dois dias; (g) execução simultânea de algumas operações (h) análise do uso de recursos comuns a duas operações simultâneas; (i) uso de andaimes menores, facilitando a movimentação de operários.

No Quadro 5.1 são apresentadas, em mais detalhes, as informações interpretadas com base nos componentes do padrão identificados a partir da nova revisão da literatura acerca de padronização e de gestão da produção. Foram adotadas três categorias de componentes do padrão, conforme sugerido por Kondo (1991): meta, restrições e método.

As restrições foram classificadas em duas categorias, segurança e qualidade técnica na execução do serviço. O método foi sub-dividido em 11 elementos, sendo 10 deles sugeridos por Ballard e Tommelein (1999) como fatores a serem considerados nas iniciativas de melhorias de processos e foram devidamente discutidos na seção 2.6.4. O elemento classificado como, procedimentos decorrentes das restrições identificadas, embora estivesse incorporado ao elemento desenho do processo, foi apresentado de forma destacada dada sua importância no processo, uma vez que estava associado à garantia da segurança e qualidade técnica na execução do serviço.

Neste quadro, aponta-se também, o momento em que cada elemento foi discutido ao longo da prototipagem na produção e, finalmente, se o mesmo foi implementado ou se permaneceu apenas no campo das discussões. Os motivos que levaram a não implementação de alguns dos elementos incorporados aos planos são discutidos no tópico 5.1.3.3.

O Quadro 5.1 indica que, ao longo da prototipagem na produção, houve a definição ou revisão dos seguintes elementos do método: conteúdo do trabalho, restrições, procedimentos decorrentes das restrições, capacidade de produção e desenho do processo. Assim, há evidências de que esta prototipagem permitiu aumentar o entendimento do processo de produção por parte da gerência. O conteúdo do trabalho, a sequência de execução, as restrições e a capacidade de produção potencial dos recursos disponíveis foram elementos básicos para a elaboração de desenhos alternativos do processo e para reavaliação do lote de produção diário e da nova meta.

**Quadro 5.1 – Informações discutidas na prototipagem da produção interpretadas à luz dos componentes do padrão**

Componentes do Padrão (KONDO, 1991)	Informações sobre o processo que emergiram na prototipagem na produção	Momento da discussão	Implementação
<b>META</b>	<b>(a) Meta:</b> tempo de ciclo de 2 dias	8º dia (3º pavto)	NÃO
<b>RESTRIÇÕES</b>	<b>(b1) Segurança:</b> limitações ao processo relacionadas à segurança (translado das peças, guindaste segurando a peça, ordem de montagem dos degraus em relação às vigas)	1º, 3º e 8º dia (1º e 3º pavtos)	SIM
	<b>(b2) Qualidade técnica:</b> limitações do processo de produção relacionada ao tempo de cura	1º e 3º dia (1º pavto)	SIM
<b>MÉTODO</b> (elementos de (c) a (l) interpretados com base nos elementos propostos por Ballard e Tommelein, 1999)	<b>(*) Procedimentos decorrentes das restrições:</b> procedimentos de segurança e garantia da qualidade técnica do serviço	1º, 3º e 8º dia (1º e 3º pavtos)	SIM
	<b>(c) Conteúdo do trabalho:</b> Conjunto de operações que compunham a tarefa	1º e 3º dia (1º pavto)	SIM
	<b>(d) Desenho do processo<sup>39</sup>:</b> Sequência de montagem das peças, operações simultâneas (solda e graute).	3º e 8º dia (1º e 3º pavtos)	Parcialmente
	<b>(e) Operações de set up</b> Operações de preparação do pilar paralelamente às operações de montagem	1º dia (1º pavto)	SIM
	<b>(f) Capacidade de produção:</b> Durações das operações para os recursos disponíveis	3º e 8º dia (1º e 3º pavtos)	NÃO
	<b>(g) Lote mínimo de produção:</b> Lote de peças a serem montadas em cada dia para que o tempo de ciclo fosse de 2 dias	8º dia (3º pavto)	NÃO
	<b>(h) Equipe:</b> Número de soldadores para aumentar a capacidade de produção da operação de solda	8º dia (3º pavto)	NÃO
	<b>(i) Espaço e acesso para a execução da tarefa:</b> uso de andaimes menores para facilitar a movimentação dos operários	8º dia (3º pavto)	NÃO
	<b>(j) Recursos compartilhados:</b> reavaliação da quantidade de andaimes. Este recurso era utilizado pelas operações de solda e de graute que poderiam acontecer em duas vigas simultaneamente.	8º dia (3º pavto)	NÃO
	<b>(k) Trabalho em progresso:</b> não discutido	-	-
	<b>(l) Lote de entrega e armazenagem de materiais:</b> não discutido	-	-

<sup>39</sup> Ballard e Tommelein (1999) denominam desenho do método.

O conteúdo do trabalho apresentado nos desenhos do processo não atingia o nível das micro-operações (denominado por Monden (1998) e Rother e Harris (2002) de elementos de trabalho), como ocorre na elaboração da planilha de operação padrão empregada para representar o trabalho padronizado no STP.

A principal razão para se chegar ao nível das micro-operações é a necessidade de efetuar a distribuição das operações entre os operários, isto é, obter o balanceamento da equipe de forma a atingir o *takt-time* e evitar ociosidade da mesma (MONDEN, 1998). Não foi possível chegar a este nível pelas seguintes razões: (a) embora a capacidade de produção potencial fosse conhecida em função do acompanhamento da montagem e das discussões com o encarregado, a capacidade real de produção estava sujeita à variabilidade<sup>40</sup>, inviabilizando as tentativas de balanceamento (b) a necessidade de ajustes nas peças dificultava o entendimento das micro-operações necessárias e a definição das suas durações (c) O principal recurso era o guindaste e, enquanto o mesmo estava em operação, havia poucas operações que podiam ser executadas e (d) a operação de solda, que era a operação mais demorada, apresentava poucas possibilidades de distribuição dos elementos do trabalho em função da necessidade de habilitação do operário para efetuá-la.

O trabalho em progresso não foi discutido na atividade em estudo. Entretanto, observa-se que, por imposições técnicas e de segurança, não era possível efetuar a montagem de várias vigas sem efetuar a solda e o graute, assim como efetuar várias soldas e grautes sem montar degraus. Ou seja, havia pouco incentivo para discutir este elemento do padrão.

A definição do lote de entrega e do espaço para armazenagem de materiais foi sendo gradualmente refinada ao longo da prototipagem na produção, em função da definição do lote de produção, que, por sua vez, dependia da capacidade de produção. No entanto, após a definição do lote de produção diário, o lote de entrega das peças não foi discutido porque havia espaço para armazenamento de um pavimento inteiro (pilares, vigas e degraus) e facilidade para eventuais ajustes na solicitação da entrega das peças no caso da capacidade de produção não ser aquela identificada pela percepção dos participantes nos primeiros ciclos de prototipagem na produção.

### **5.1.3.2 Contribuições da prototipagem na produção**

O entendimento do processo de montagem da escada para a equipe de pesquisadores mostrou-se dependente do acompanhamento no local e das discussões com o encarregado da

---

<sup>40</sup> Eram consumidos de 9 a 60 minutos com ajustes nas peças, o que ocasionava grande variabilidade no tempo de montagem de cada peça.



EM ao longo da montagem. Uma análise dos elementos (seqüência de montagem, lote diário de produção e meta), entendidos pela equipe na época de elaboração do plano inicial (Figura 5.2), e dos mesmos elementos propostos no 8º dia de montagem (Figura 5.16) evidencia, mais uma vez, a evolução no entendimento do processo de produção.

Os elementos que emergiram dos ciclos de aprendizagem interpretados à luz dos componentes do padrão indicaram que a prototipagem na produção, embora se desenvolva em ambiente menos propício do que o *FRS* em termos de disponibilidade de tempo para experimentação tem potencial para contribuir na definição dos elementos do padrão.

A contribuição para a redução da incerteza deveria ocorrer através da especificação da meta e da combinação dos elementos do método, balizada pelas restrições, estabelecendo os meios para atingi-la. Esta afirmação tem o respaldo da literatura. Williams (2002) menciona que a incerteza está associada ao desconhecimento dos métodos e dos objetivos a serem alcançados. Linderman et al. (2003), por sua vez, afirmam que a especificação clara de uma meta contribui para reduzir a variabilidade no desempenho porque promove um entendimento uniforme de um objetivo comum e a convergência dos resultados para este objetivo.

No entanto, nem todos os elementos do método apresentados no Quadro 5.1 foram implementados, impedindo que o ciclo de aprendizagem propiciado pela definição do plano, ação e reflexão mostrasse a necessidade de ajustes na combinação destes elementos de forma a convergir para a meta.

A contribuição da prototipagem na produção para a segurança ocorreu por intermédio da identificação de restrições que resultavam em procedimentos que, se não cumpridos, expunham os trabalhadores a alto risco de acidentes.

Estes procedimentos eram: (a) interrupção das atividades no momento do traslado de peças (b) permanência do guindaste segurando o pilar até que este estivesse suficientemente solidarizado ao inferior e (c) montagem dos degraus dos *slides* 13 a 16 da Figura 5.15 antes das vigas dos *slides* 17 a 20, de forma que os mesmos servissem de apoio para os andaimes no momento de execução de solda das vigas.

No entanto, as restrições identificadas e os procedimentos delas decorrentes faziam parte do conhecimento da equipe de montagem e eram cumpridos, tendo em vista as consequências da sua transgressão.

Este fato indicou que havia um padrão seguido pelos operários da EM, ao menos nos moldes propostos por Kondo (1991), em que apenas os procedimentos relacionados às restrições, normalmente de segurança e qualidade, devam fazer parte do método padronizado.

Outro ponto a ser destacado, refere-se ao fato de que estes procedimentos de segurança estavam incorporados ao conhecimento dos operários de forma implícita e foram gradualmente explicitados pela prototipagem na produção. O potencial da prototipagem na produção para explicitar o conhecimento tácito é esperado, uma vez que neste tipo de prototipagem as experimentações se desenvolvem mediante a execução da tarefa. No entanto, no que diz respeito à segurança, destaca-se de forma mais enfática a importância de explorar outros tipos de prototipagem, tais como, a prototipagem virtual, de forma que a exposição do operário ao risco não seja utilizada como uma forma de aprendizagem.

A contribuição da prototipagem para garantir a segurança poderia ser mais intensa se as restrições tivessem sido identificadas no plano inicial por intermédio do desenho 3D, permitindo que os procedimentos decorrentes das restrições fossem incorporados ao plano inicial de segurança elaborado pelos técnicos da empresa A e da EM. Este plano constituía-se na referência para a coleta do indicador Npnc (Número de procedimentos do plano não cumpridos) e, um número baixo deste indicador deveria contribuir para atingir a meta de  $NQA=0$ .

A contribuição da prototipagem na produção para a segurança poderia ser mais eficaz se alguns procedimentos definidos nas reuniões com a gerência da empresa tivessem sido efetivamente implementados: (a) a coleta dos indicadores deveria ser efetuada pelos operários e pelo técnico de segurança; e (b) ao longo das reuniões deveria haver uma discussão que permitisse entender porque os ajustes nas vigas vindos na fábrica não eram suficientes, sendo necessário expor os operários ao risco ao efetuá-los no momento de seu posicionamento no console dos pilares.

Observa-se que, embora os procedimentos para efetuar os referidos ajustes adequadamente não devessem ser incorporados ao padrão, em vista das causas da sua ocorrência, a prototipagem na produção constitui-se em um tipo de experimentação apropriado para reagir a estas contingências presentes na construção civil. Estas contingências são classificadas por De Meyer, Loch e Pich (2002) como incertezas imprevistas, ou, eventualmente, como incertezas derivadas do caos, para as quais o planejamento, neste caso expresso por um padrão, não é apropriado. Segundo o mesmo autor, em tais situações, deve-

se priorizar formas de atuação que privilegiem o entendimento da situação, como é o caso da prototipagem.

### **5.1.3.3 Dificuldades para implementar a prototipagem na produção**

A montagem da escada foi realizada sem que houvesse a disponibilidade adequada do *input* material/componentes, representado por vigas com espaçamento e comprimento da ferragem de solda adequados. Isto resultou na execução da tarefa em condições sub-ótimas ou desfavoráveis, conforme mencionam Ronen (1992) e Koskela (1999, 2000).

Em decorrência da execução da tarefa nestas condições, houve as seguintes repercussões no processo de produção: (a) em algumas situações, a seqüência ideal para montagem das vigas não era seguida; (b) a capacidade real de produção dos recursos disponíveis não era totalmente utilizada; e (c) maior exposição dos operários a riscos de acidentes.

Sob o ponto de vista da prototipagem na produção, que faz uso da própria produção para a aprendizagem acerca do seu processo, estas repercussões, especialmente, as duas primeiras afetavam o entendimento, por parte da equipe de pesquisadores, dos elementos seqüência de montagem e capacidade de produção.

A dificuldade de entendimento foi superada através do acompanhamento por parte da equipe de pesquisadores durante todo o tempo da montagem e da cronometragem das durações das operações, inclusive do tempo gasto com ajustes. A recorrência do problema impediu que todos os elementos do método fossem implementados e, conforme discutido na reunião de encerramento do estudo, ocasionou uma interrupção no ciclo de definição do plano, ação, reflexão, do qual a aprendizagem da equipe dependia.

Assim, a participação ativa dos gerentes foi considerada necessária para que a prototipagem na produção ocorresse em condições favoráveis pelas seguintes razões:

1. A disponibilização adequada dos sete *inputs* (material/componentes, mão de obra, máquinas/equipamentos, informações de projeto, tarefas pré-requisitos, espaço e condições externas), mencionados por Koskela (1999, 2000) para execução da tarefa em condições favoráveis, deve ser atribuição do gerente de produção. A disponibilidade dos *inputs* poderia ter reduzido as anomalias que dificultavam o entendimento do processo e impediam a implementação dos planos;

2. O acesso em tempo real à informação referente ao tempo total gasto com ajustes poderia permitir uma análise do impacto em termos do tempo de ciclo e a rápida tomada de decisão quanto à disponibilidade das vigas, dando continuidade ao processo de aprendizagem;
3. Uma maior presença do gerente de produção no local da execução poderia permitir que o mesmo entendesse a situação vigente, sem a necessidade de apresentação dos dados através de ferramentas gráficas. Constatou-se que a organização dos dados através destas ferramentas consome tempo de quem a elabora e não expressa os impactos em termos de desmotivação das pessoas envolvidas na produção. Imai (1997) destaca a presença do gerente no chão de fábrica como o primeiro passo para a eficiência na gestão da produção. O referido autor acrescenta que este procedimento elimina a necessidade de coletar grande quantidade de dados, uma vez que se tem acesso ao dado original.

Assim, no contexto da prototipagem, o gerente deve exercer o papel de facilitador, cuja principal função, de acordo com Treville e Antonakis (2005), é remover obstáculos que inibem o desempenho do trabalhador e a provisão de recursos, equipamentos e treinamentos para que o trabalho possa ser bem executado. Ao cumprir esta função, o gerente promove a aprendizagem da equipe, isto é, dele próprio e dos demais envolvidos no processo de prototipagem.

A antecipação de informações desconhecidas por meio da experiência de pessoas que detenham o conhecimento do objeto investigado, especialmente em ambientes de alta incerteza, é destacada por Chew, Anson e De Saram (1991). No entanto, houve dificuldade em antecipar o entendimento do processo de produção através da troca de informações com o encarregado. Esta dificuldade ocorreu, principalmente, em função de barreiras para tornar explícito o conhecimento tácito do encarregado.

Destaca-se que o uso do desenho 3D não foi suficiente para intermediar a troca de informações com o encarregado e tornar explícito o seu conhecimento. Assim, constatou-se a necessidade de investigar outros meios que oferecessem condições de inserção da variável tempo, de forma a permitir que elementos, tais como: sequência de execução, conteúdo do trabalho, restrições, capacidade de produção e tempo de ciclo fossem explicitados na discussão. O próprio *FRS* sugerido por Ballard e Howell (1997a), o uso da simulação através

de modelos 4D ou, ainda, o emprego da prototipagem rápida (PR) para as situações de montagem de pré-moldados, como a deste estudo, podem ser objeto de investigação.

Observa-se que a elaboração dos desenhos do processo com base em dados coletados no local e nas discussões com o encarregado teve papel importante no processo de aprendizagem dos pesquisadores, especialmente, no entendimento de qual deveria ser o lote de produção diário para atingir a meta de dois dias. Esta evolução no entendimento por parte dos pesquisadores permitiu um certo nivelamento de conhecimento com o encarregado, facilitando a comunicação com o mesmo.

Outra dificuldade observada, característica da prototipagem na produção e, também comentada por Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991), referiu-se à disponibilidade de tempo para discussões. Conforme mencionado no capítulo 3, no *FRS*, a equipe dispõe de um espaço de tempo maior para experimentações e discussões. Além disso, o uso antecipado de outros tipos de prototipagem, tais como, a simulação através de modelos 4D amenizam a carga de problemas a serem discutidos na prototipagem na produção.

Embora no início do estudo, a pesquisadora tenha interpretado que o custo diário de locação do guindaste deveria estimular a empresa A a reduzir o prazo de montagem, observou-se que a alteração do regime de contratação para administração e o fato da montagem da escada não ser uma atividade crítica em termos de prazo, repercutiu na falta de empenho da empresa A ao utilizar os ciclos de repetição para melhorar seu desempenho. Assim, a necessidade de atrelar o propósito da prototipagem à estratégia de produção foi considerada outro requisito importante, conforme preconizam Howell e Ballard (1999).

A falta de tempo contribuiu para que ferramentas, tais como, Cinco Porquês e *Brainstorming* não fossem efetivamente utilizadas. Ballard e Howell (1997a) sugerem o uso destas ferramentas no *FRS*, assim como Imai (1997) no processo de melhoria contínua (*kaizen*). Entretanto, é necessário investigar em maior profundidade o uso destas ferramentas na prototipagem na produção que sofre com mais intensidade a pressão do tempo.

Especificamente no caso da ferramenta Cinco Porquês, os resultados apontaram para a necessidade de analisar: (a) a sua efetiva contribuição para identificar a causa-raiz de problemas, especialmente em situações complexas nas quais há um grande número de fatores influentes interligados; e (b) os aspectos comportamentais envolvidos, uma vez que as pessoas podem interpretar que o seu conhecimento está sendo colocado à prova.

### 5.1.4 Considerações Finais

Conforme apontado no item 4.5.1, ao final do primeiro estudo empírico, foi realizado um desdobramento da questão inicial de pesquisa, relacionada ao papel da prototipagem na redução de riscos e incertezas na construção civil. Nesta reflexão, foram consideradas as proposições de Ballard e Howell (1997a) para o *FRS*:

- O *FRS* contribui para a redução da incerteza por intermédio de um maior domínio do método a ser empregado para executar a tarefa;
- Este maior domínio decorre de discussões da forma como executar a tarefa, de experimentá-la, observá-la e rediscuti-la até que um padrão seja definido.

As principais contribuições do primeiro estudo foram relacionadas à definição dos componentes do padrão e como estes se relacionam com a redução da incerteza e do risco. Apontou-se que a redução da incerteza deve ocorrer por intermédio da especificação de uma meta e da combinação dos elementos do método, balizada pelas restrições, estabelecendo os meios para atingi-la.

No entanto, determinados elementos do método não foram implementados e a meta não foi alcançada. Desta forma, considerou-se necessário dar continuidade na pesquisa, com o objetivo de investigar:

- Como a prototipagem pode contribuir para a definição dos componentes do padrão (metas, restrições e métodos)?
- Como implementar a prototipagem de forma a atingir a padronização do método de trabalho?

Com relação a este segundo desdobramento da questão de pesquisa, as dificuldades enfrentadas neste primeiro estudo apontaram os seguintes requisitos para atingir a padronização através da prototipagem na produção: (a) participação mais ativa dos gerentes com o objetivo de assegurar a disponibilidade dos *inputs*, de entender a situação vigente e de tomar decisões em tempo real; (b) antecipar informações do processo por meio de outros tipos de prototipagem; e (c) atrelar o propósito da prototipagem à estratégia de produção. No entanto, considerou-se que o atendimento a estes requisitos no estudo seguinte deveria permitir que novos requisitos fossem identificados.

Todas as restrições identificadas estavam associadas à segurança e à qualidade técnica na execução do serviço, situações nas quais Kondo (1991) recomenda que existam

procedimentos rígidos a serem seguidos. Não foram identificadas outras classes de restrições, não permitindo concluir a respeito da sugestão de Kondo (1991) de que as restrições sejam eliminadas, sempre que possível, permitindo, assim, um método de trabalho flexível.

Com relação a esta sugestão de Kondo (1991) surgiu uma dúvida na medida em que a identificação das restrições ocorria por intermédio da evolução no entendimento dos elementos do método e esta, por sua vez, e mostrou-se dependente do acompanhamento da execução e de discussões acerca destes. Ou seja, ao menos no campo das discussões havia necessidade de especificar os elementos do método, levando a um maior detalhamento e, conseqüentemente, rigidez neste. Assim, ocorreu um terceiro desdobramento da questão inicial de pesquisa:

- Qual o papel da prototipagem no detalhamento do método de trabalho padronizado?

A seguir é apresenta-se como se desenvolveram as investigações destas questões no segundo estudo realizado também na empresa A.

## **5.2 SEGUNDO ESTUDO DE CASO**

### **5.2.1 Considerações Iniciais**

A apresentação deste estudo, da mesma forma que o anterior, se dará segundo os ciclos de aprendizagem da equipe ao longo da execução do *FRS* e das primeiras unidades de produção.

Inicialmente são relatadas as atividades de preparação que antecederam o início do *FRS*. Em seguida, são descritos o processo de definição do plano inicial para ser colocado em prática no *first run* e os grandes ciclos de ação, reflexão e definição de novos planos ocorridos ao longo das seguintes etapas: (1) execução do *FRS* do banheiro, (2) início da produção nos banheiros, (3) execução do *FRS* do quarto, (4) início da produção nos quartos. Dentro de cada uma destas etapas, são apresentados os ciclos intermediários de aprendizagem da equipe.

Ao final, são apresentados os resultados deste segundo estudo e uma discussão dos avanços obtidos nas investigações até esta etapa da pesquisa.

### 5.2.2 Atividades de Preparação para Execução do *FRS*

Conforme mencionado no capítulo anterior, a preparação para o *FRS* abrangeu as atividades: (a) revisão e de compatibilização dos projetos; (b) contratação das sub-empreiteiras que executariam os serviços nos apartamentos de internação (c) aquisição de materiais e equipamentos e (d) elaboração do *phase scheduling*.

A revisão e compatibilização de projetos haviam sido citadas na reunião de encerramento do estudo anterior como um requisito a ser cumprido visando à eliminação dos problemas relacionados ao produto.

Para revisão e compatibilização dos projetos foram utilizados desenhos 3D com o objetivo de avaliar o espaço para abrigar grande quantidade de tubulações, especialmente nos corredores e quartos da ala de internação, onde as instalações de ar condicionado, gases e incêndio eram mais freqüentes. Entretanto, não foi possível explorar intensamente os recursos da prototipagem virtual, uma vez que não havia profissional que dominasse este recurso. Esta atividade foi coordenada por um arquiteto, mestrando do Norie, que integrava a equipe de pesquisadores.

O uso dos desenhos 3D foi intenso com o engenheiro da empresa responsável pela execução de ar condicionado para avaliar o uso do espaço das tubulações. No caso dos demais projetos complementares, as discussões para revisão e compatibilização ocorreram, principalmente, com os encarregados das sub-empreiteiras. Observou-se que estas pessoas davam preferência para discutir o uso do espaço no local ao invés de utilizar os desenhos 3D (FIGURA 5.20).



**Figura 5.20 – Discussão no local acerca do posicionamento de tubulações no forro**

A elaboração do *phase scheduling* foi considerada necessária porque o prazo para término dos apartamentos de internação que havia sido prorrogado de janeiro para final de



fevereiro, foi novamente estipulado para final de janeiro. Este prazo foi considerado bastante exíguo segundo avaliação da empresa A, exigindo uma reavaliação das metas no planejamento de longo e médio prazo. Além disso, uma análise da planilha de médio prazo indicou que as metas estipuladas não eram claras<sup>41</sup>, o que dificultava a avaliação quanto à possibilidade de cumprir o prazo acordado.

Destaca-se que o *phase scheduling* tinha a incumbência de assegurar o término de atividades pré-requisitos, inclusive para os apartamentos do *FRS* e não apenas para os demais apartamentos de internação. Por exemplo, para iniciar os apartamentos do *FRS* era necessário que a cobertura estivesse executada e que as esquadrias, ao menos dos dois apartamentos, estivessem instaladas para evitar danos ao gesso acartonado.

A contratação das sub-empreiteiras garantia os recursos de mão de obra para execução dos sessenta apartamentos e do *FRS*. Esta tarefa era de responsabilidade da diretoria do hospital e era acompanhada pelo engenheiro de contrato da obra e pelo engenheiro de produção, tendo em vista o interesse da empresa A de que esta decisão não fosse protelada em função do prazo para execução dos apartamentos de internação. No *phase scheduling* definiu-se a quantidade e composição das equipes que as sub-empreiteiras deveriam disponibilizar para cumprir as metas estipuladas.

Foi elaborada uma lista de restrições visando a garantir o fluxo de recursos (materiais e equipamentos) necessários à construção dos apartamentos antes do início do *FRS*. Esta lista foi elaborada pela pesquisadora para ser complementada pelo engenheiro de produção da obra e incorporada à relação de restrições gerada pelo planejamento de médio prazo da obra que incluía outras frentes de trabalho além dos apartamentos de internação.

### 5.2.3 Ciclos de Aprendizagem da Equipe

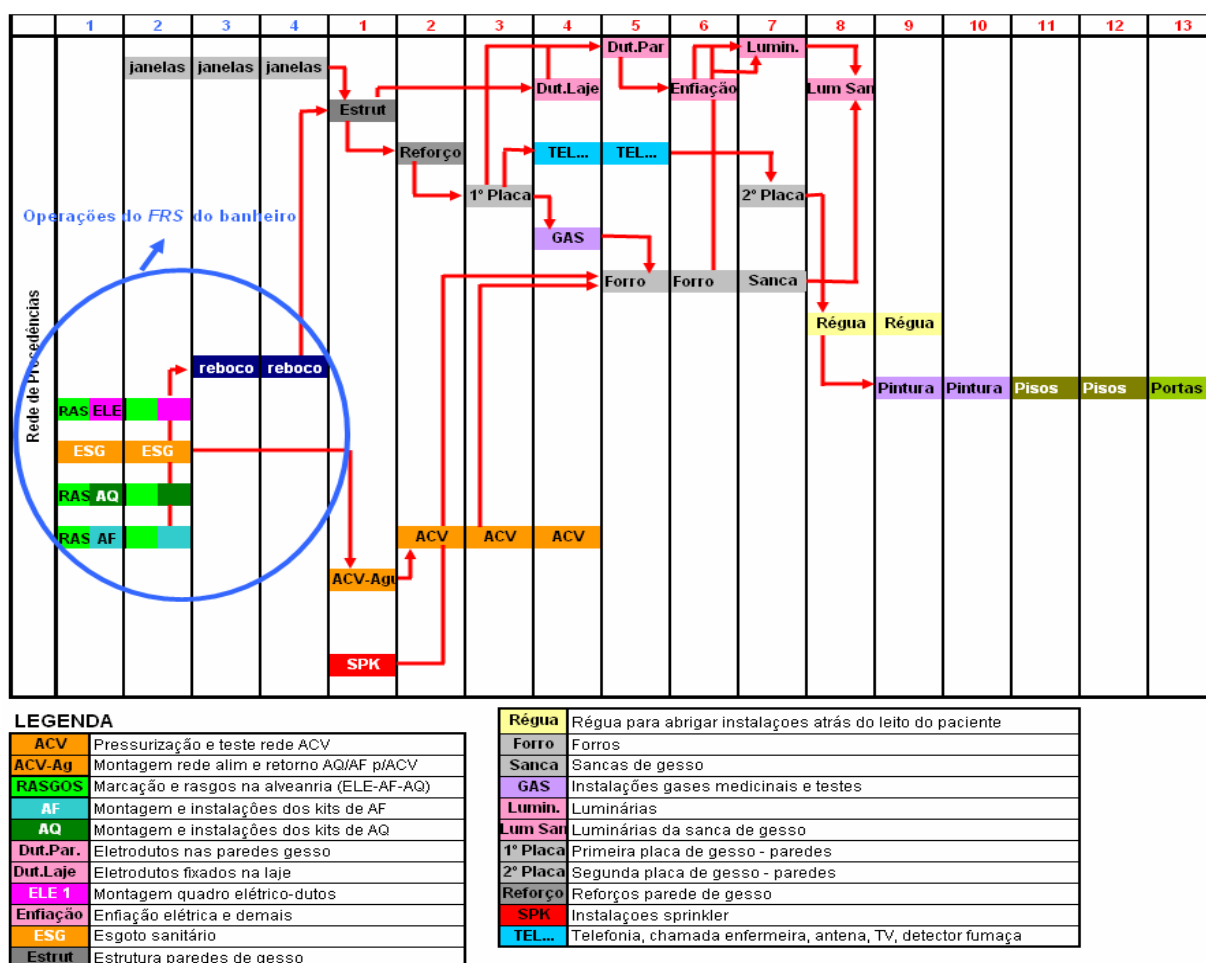
#### 5.2.3.1 Definição de um plano inicial para execução do *FRS*

A equipe de pesquisadores elaborou uma rede de precedências com as operações dos dois apartamentos de internação (FIGURA 5.21), contando com a colaboração dos encarregados e engenheiros das sub-empreiteiras. Para elaboração da rede, houve seis reuniões com os encarregados e engenheiros das sub-empreiteiras e apenas na última delas foi

---

<sup>41</sup> As atividades a serem executadas nos banheiros apresentavam-se da seguinte forma: execução de tubulações elétricas e enfição, instalação de água fria, água quente e esgoto nos banheiros, sendo citada apenas a data de início e término de cada uma. Não era especificado em quais banheiros, nem sequer quantos banheiros de qual pavimento deveriam ser executados na janela de tempo programada.

possível contar com a participação da equipe completa, com exceção do representante da sub-empiteira que executava o gesso acartonado.



**Figura 5.21 – Plano inicial para execução dos dois apartamentos do FRS**

As informações cedidas pelos encarregados e engenheiros foram: a seqüência das operações a serem executadas por suas equipes e as interfaces com as demais equipes, as durações e a composição das equipes para que aquelas durações fossem cumpridas.

O grande número de reuniões realizadas ao longo de duas semanas foi decorrência da dificuldade de reunir os representantes de todas as sub-empiteiras, exigindo retomar discussões para esclarecer interfaces com base em informações que surgiam a cada reunião individual.

Apenas as instalações prediais foram incluídas no FRS do banheiro, pois a equipe entendeu que submeter as demais operações à experimentação não traria benefícios ao entendimento do método de trabalho porque se tratavam de operações corriqueiras (reboco, impermeabilização do piso do box, revestimento cerâmico e louças). Com relação ao produto as maiores dúvidas também se restringiam às instalações.

Ainda que não houvesse dúvida com relação ao conteúdo do trabalho, a pesquisadora esclareceu que havia a possibilidade de utilizar o *FRS* para definir qual deveria ser o lote de banheiros segundo o qual as equipes se distribuiriam sem que houvesse choque entre as equipes num mesmo banheiro e, ao mesmo tempo, sem que o trabalho em progresso fosse elevado.

A dificuldade de evitar o choque de equipes em um banheiro foi percebida ao elaborar a rede de precedências para o *FRS* que incluía apenas as operações de instalações elétricas e hidro-sanitárias em dois banheiros.

A justificativa para explorar a contribuição do *FRS* para este elemento do padrão residia no fato de que ao trabalhar com lote de produção excessivamente pequeno, a indisponibilidade do *input* espaço (banheiro para as equipes trabalharem) citado por Koskela (1999, 2000)<sup>42</sup> constituía-se em uma fonte de incerteza.

Os demais lotes de apartamentos, seguintes ao *FRS* (prototipagem na produção), deveriam permitir uma avaliação mais refinada desta informação, uma vez que o *FRS* permitiria o ensaio em apenas um ciclo de repetição.

A proposta de trabalhar com tamanho adequado de lote de produção nos apartamentos significava pequena quantidade de trabalho em progresso. Esta proposta foi discutida na última reunião de montagem da rede de precedências. Uma vez que estavam sendo adquiridos os materiais de todos os apartamentos e que o *FRS* deveria evitar a propagação de erros nos apartamentos seguintes, foram utilizados como argumentos para que o lote de produção e o trabalho em progresso não fossem elevados, a necessidade de concentrar o fluxo de materiais e de facilitar o controle para os encarregados e a comunicação entre as equipes.

Entretanto, os encarregados de instalações (elétrica, hidro-sanitárias, gás, incêndio) e os engenheiros de instalações hidro-sanitárias e de ar condicionado das sub-contratadas entendiam que, diante da pressão do prazo, era necessário que as equipes tivessem frente de trabalho no maior número possível de apartamentos. Portanto, atividades rápidas, como rasgos em paredes dos banheiros e fixação de perfis do gesso acartonado dos quartos, deveriam, segundo a expressão deles, “disparar, abrindo frente de trabalho para as equipes que vinham atrás”.

---

<sup>42</sup> No item 2.5.2 o espaço constitui-se em um dos sete fluxos ou *inputs* para realização da tarefa citados por Koskela (1999, 2000).

Assim, o lote de produção no *FRS* foi de dois banheiros e incluía apenas a execução das seguintes atividades: execução das instalações elétricas, instalações hidro-sanitárias e esgoto.

No caso do *FRS* dos quartos, o lote de produção era também de dois quartos, porém a intenção era executar todas as atividades conforme ilustrado na rede de precedências (Figura 5.21).

Com base nos prazos definidos pela rede de precedências (quatro dias para execução dos dois banheiros e de treze dias para a dupla de quartos), foi reservado um espaço de tempo dilatado para o *FRS*, criando condições favoráveis para discussões e para experimentar métodos alternativos. A Figura 5.22 mostra que foi reservado um prazo de uma semana para construção da dupla de banheiros e aproximadamente dois meses para a dupla de quartos.

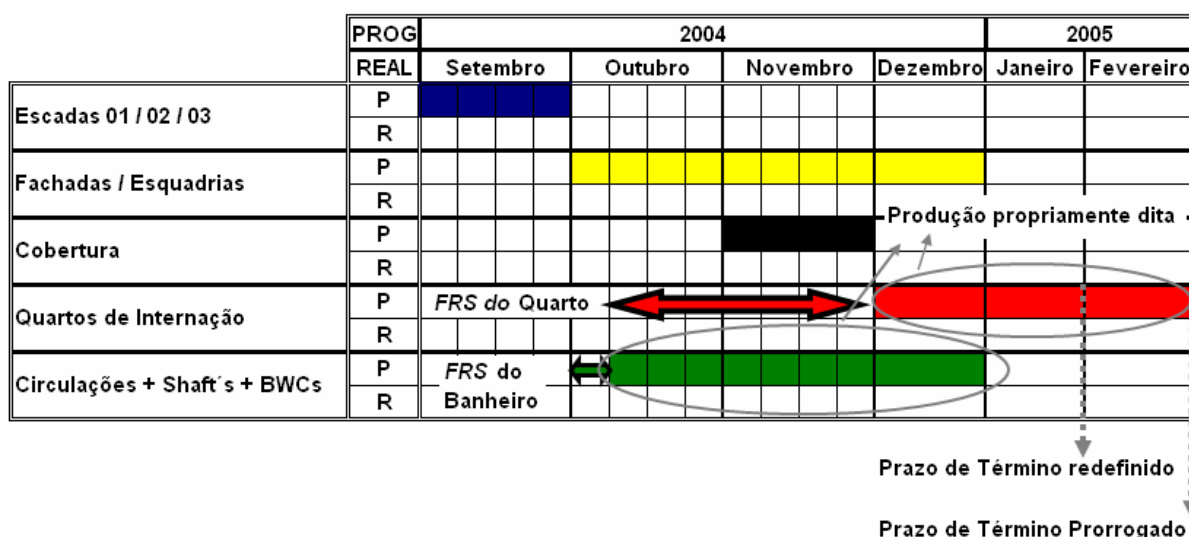


Figura 5.22 – Tempo reservado para o *FRS* antes do início da produção

### 5.2.3.2 Execução do *FRS* do banheiro

Apesar do acompanhamento por parte da empresa A no sentido de pressionar o cliente para as contratações das empresas sub-empreiteiras de instalações prediais, o início do *FRS* dos banheiros, previsto para 01/10/04, ocorreu em 13/10/04 em função da contratação tardia da sub-empreiteira responsável pela execução das instalações.

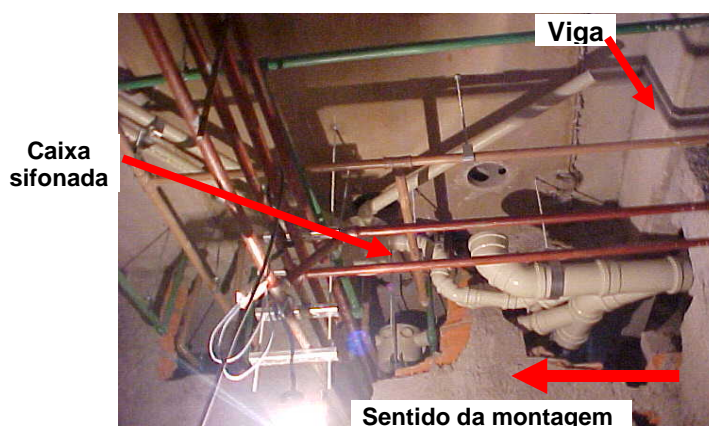
A execução do *FRS* foi interrompida logo no seu início e reiniciada em 18/10/04 porque algumas restrições não haviam sido removidas: falta de material (quadros de distribuição da elétrica, todo o material de água quente), falta de EPIs para efetuar rasgos em paredes e indefinições do produto (posição dos acessórios de banheiro).

No início do *FRS*, foi identificada a necessidade de modificar o encaminhamento dos ramais de água fria (AF) e de água quente (AQ), que pelo projeto ocorria pela parede comum a dois banheiros. A Figura 5.23 ilustra que esta solução acarretava a destruição da parede na região dos ramais, o que levou a equipe a optar pelo encaminhamento dos ramais pelo forro, conforme mostra a Figura 5.24. Esta nova proposta acentuava o problema de restrição de espaço no forro já tomado pelas tubulações de esgoto e incêndio, mas, ainda assim, parecia a melhor solução e, portanto, foi aceita pelo cliente.

A tubulação de AQ exigida pelo cliente foi de polipropileno em que a união das conexões se dá por fusão a quente e não por soldagem com adesivo, como no caso da tubulação de PVC. Como a equipe de instaladores da sub-empreiteira nunca havia trabalhado com este tipo de tubulação foi estabelecido um acordo com o fornecedor de que um técnico treinaria o instalador e acompanharia o trabalho deste ao longo do *FRS*.



**Figura 5.23 – Parede comum aos banheiros**



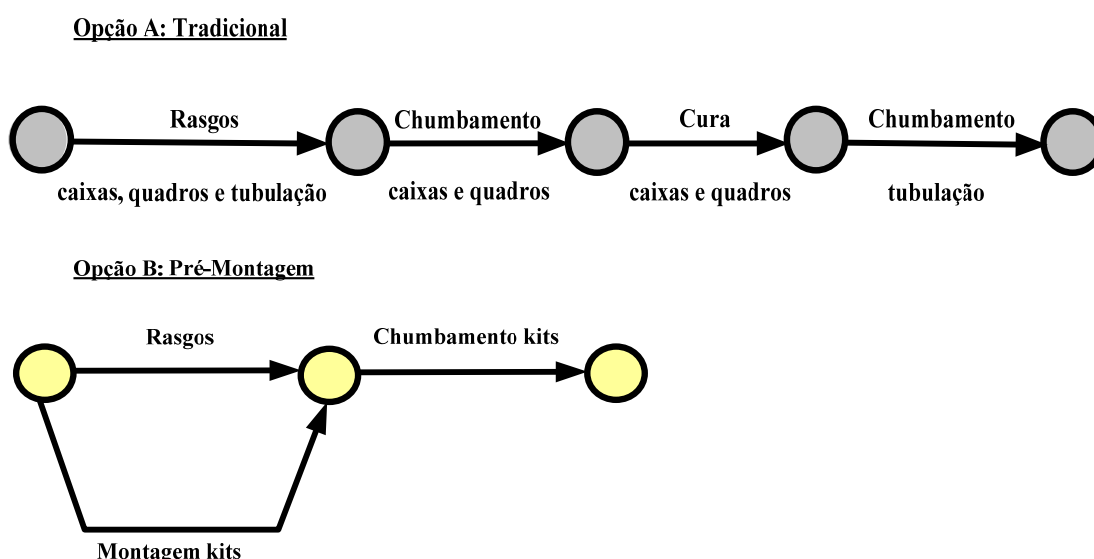
**Figura 5.24 – Condução da tubulação de AF e AQ pelo forro**

Os ramais de esgoto foram montados e desmontados quatro vezes porque a equipe de produção buscava uma alternativa que facilitasse a montagem e o trajeto da tubulação da pia até a caixa sifonada, evitando a execução de uma passagem na viga (FIGURA 5.24). O início da montagem partia do tubo de queda e ventilação para a caixa sifonada. A sequência de montagem ocorria desta maneira por duas razões que facilitavam a montagem: os tubos de queda e de ventilação se constituíam em pontos fixos e naquela região havia acúmulo de conexões.

Outro aspecto discutido no início da montagem foi o trecho do ramal de esgoto que seria pré-montado e o trecho que seria montado no local. Esta decisão foi função da dificuldade de execução, tendo em vista a limitação de espaço para encaixar grandes trechos de *kits* pré-montados.

Após definir a melhor alternativa, a equipe de manutenção do hospital foi novamente requisitada para emitir um parecer a respeito da solução encontrada. A alternativa foi aceita, porém, com uma alteração: que o nível da caixa sifonada deveria ser levantado para que facilitasse a manutenção. Esta modificação impôs a necessidade de efetuar um furo na viga para a passagem da tubulação de esgoto da pia, porém, não alterou as diretrizes da seqüência de montagem mencionada anteriormente e estabelecida após quatro as tentativas.

No que tange às instalações elétricas não foram encontrados problemas relacionados ao produto e as experimentações realizadas ao longo da *FRS* foram relacionadas ao processo de produção. O encarregado da elétrica propôs à sua equipe um método para embutir as tubulações que ele julgava mais eficiente do que o tradicional. A Figura 5.25 mostra as duas opções de desenho do processo. O desenho proposto pelo encarregado consistia em pré-montar *kits* compostos de caixinhas (interruptores e tomadas) e trechos de tubulações, ao mesmo tempo em que os rasgos eram efetuados e, em seguida, todo o *kit* era embutido e chumbado com argamassa. Este desenho apresentava menor tempo de ciclo do que o tradicional, conforme mostra a Figura 5.25, porque o embutimento de caixinhas e tubulação ocorreria em uma única operação e a montagem dos *kits* poderia ser feita paralelamente aos rasgos.



**Figura 5.25 – Desenhos do processo para embutir tubulações elétricas**

No primeiro banheiro (WC-530) do *FRS*, a dupla de eletricitistas não aderiu à proposta do encarregado e o serviço foi executado segundo o desenho tradicional. Já, no segundo

banheiro (WC-529) foi experimentada a proposta de pré-montagem com o auxílio do encarregado, conforme mostram as Figuras 5.26 e 5.27.



Figura 5.26 – Kit montado



Figura 5.27 – Embutimento do kit

Embora a opção de pré-montagem favorecesse a redução do tempo de ciclo, o teste no *FRS* demonstrou que o fato do *kit* ser uma peça monolítica dificultava o posicionamento adequado do conjunto dentro do rasgo no momento do chumbamento. Este fato fez com que a equipe refletisse para encontrar outro desenho do processo que permitisse a redução do tempo de ciclo e o *FRS* foi encerrado com uma proposta de execução das instalações elétricas no banheiro conforme mostra a Figura 5.28. Nesta opção, os rasgos eram efetuados em duas etapas porque permitia que a cura da argamassa de chumbamento das caixas e quadros ocorresse enquanto os rasgos das tubulações eram executados.

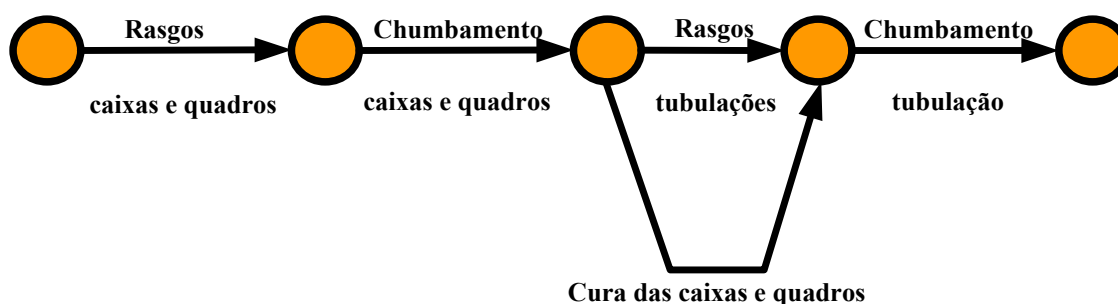


Figura 5.28 – Desenho do processo definido ao final do *FRS*

Outra sugestão do encarregado de instalações elétricas quando do *FRS* foi a confecção de um gabarito para efetuar a marcação das caixas de tomadas e interruptores e do

quadro de distribuição (FIGURA 5.29). Esta sugestão surgiu porque ocorreram erros de marcação do nível dos dois quadros de distribuição e de várias caixas de tomadas e interruptores ocasionando retrabalho.



**Figura 5.29 – Gabarito para marcação de caixas e quadros**

#### **5.2.3.3 Reunião de encerramento do *FRS* – Reflexão**

A produção dos banheiros foi iniciada em 25/10/04 e somente no dia seguinte foi possível reunir as pessoas para realizar uma discussão de fechamento do *FRS*. Conforme mencionado no capítulo anterior, a reunião de encerramento do *FRS* foi uma oportunidade para: (a) consolidar as lições aprendidas no *FRS* para serem replicadas na construção dos demais banheiros; (b) identificar empecilhos que pudessem prejudicar esta replicação, e (c) discutir os problemas vivenciados no *FRS* dos banheiros que deveriam ser evitados no *FRS* dos quartos.

Assim, a reunião iniciou com um depoimento dos encarregados de instalações elétricas e hidro-sanitárias, mencionando os benefícios do *FRS* observados pelos mesmos. Os encarregados foram informados no dia anterior que seria solicitado um depoimento de ambos com relação aos benefícios provenientes do *FRS* na visão de cada um e os problemas observados ao longo da sua execução. A pesquisadora tinha a intenção de que ambos tivessem tempo para refletir a respeito destes aspectos e que os benefícios fossem assimilados por ambos para que pudessem ser replicados na produção. O Quadro 5.2 apresenta os benefícios citados pelos encarregados.



Quadro 5.2 – Benefícios do *FRS* citados pelos encarregados

ENCARREGADO	BENEFÍCIOS
Instalações hidro-sanitárias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição de um encaminhamento da tubulação aprovado pelo cliente e executado em dois dias conforme sua previsão inicial.</li> <li>- Condição mais favorável para efetuar o treinamento do operário para o uso da tubulação de água quente por fusão.</li> </ul>
Instalações elétricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição de um desenho do processo para execução dos ramais dos banheiros em menor tempo.</li> </ul>

Como no caso das instalações hidro-sanitárias a pesquisadora havia observado mais benefícios do que a melhoria no encaminhamento da tubulação, a mesma questionou o encarregado se a sequência de montagem dos ramais e a definição de quais peças fariam parte do *kit* pré-montado haviam sido estabelecidas com base nas experimentações realizadas no *FRS*. O encarregado concordou, mas afirmou que se o *FRS* não tivesse acontecido, os benefícios levantados pela pesquisadora ocorreriam na produção dos banheiros. No entanto, acrescentou que, provavelmente seria necessário executar alguns banheiros até que aquelas soluções de sequência e de montagem de *kits* fossem encontradas.

No prosseguimento da discussão dos benefícios, a equipe de pesquisadores incentivou as pessoas a mencionarem os problemas enfrentados ao longo do *FRS*. No início da reunião foi mencionado que um dos objetivos do encontro era a oportunidade de reflexão conjunta a partir dos problemas enfrentados, sem qualquer preocupação em encontrar o causador do problema, mas sim a causa. Este exercício deveria incluir uma discussão da causa que havia levado ao problema, da consequência e de como o mesmo foi solucionado. A discussão de como o problema havia sido solucionado não deveria ter um caráter de crítica à solução e também não ser entendida como uma prescrição a ser seguida nos demais banheiros ou no próximo *FRS*. A intenção era analisar sua efetividade à luz da causa-raiz do problema. O Quadro 5.3 apresenta uma síntese do que foi discutido na reunião.

Quadro 5.3 – Síntese das discussões na reunião de encerramento do *FRS* do banheiro

Problema	Causa	Impactos	Solução
Atraso de 12 dias para início do <i>FRS</i>	Não contratação da sub-empregadora de instalações por parte do cliente	Sobreposição <i>FRS</i> e produção	Conversas frequentes com o cliente.
Atraso de 5 dias para reinício do <i>FRS</i> .	Falta de materiais e EPIs	Sobreposição <i>FRS</i> e produção	Providenciar os recursos que faltavam.
Dificuldade para execução de furos na laje (passagem AF/AQ).	Encaminhamento da tubulação pelo forro (modificação na concepção projeto).	Baixa produtividade da mão de obra e agravante na disputa pelo espaço físico dentro do banheiro.	Execução de furos com a máquina (locação do equipamento).
Chumbamento de quadros de distribuição e caixas em nível errado.	Incompatibilidade na informação do projeto e do padrão adotado pelo hospital.	Retrabalho: remoção das caixas chumbadas e execução do serviço novamente.	Confecção de um gabarito para marcação de quadros e caixas.

A equipe de pesquisadores observou que os problemas não eram discutidos de forma a identificar suas causas raízes. Por exemplo, a falta de materiais e EPIs não poderia ser a causa raiz do atraso para iniciar o *FRS*, principalmente porque a empresa A tinha o PCP implementado e efetuava regularmente as reuniões de médio prazo.

A real causa do problema de nível dos quadros de distribuição e caixas não era a incompatibilidade na informação de projeto e o padrão praticado no hospital, mas sim o fato de que a mão de obra não era qualificada para efetuar a operação de marcação de nível. Ao observar a execução desta operação no canteiro foram detectadas falhas grosseiras da equipe para a execução do nivelamento. A incompatibilidade entre o projeto e o padrão praticado no hospital se restringia aos quadros de distribuição, ao passo que os erros de nível ocorriam não apenas nos quadros, mas também nas caixas chumbadas. Inclusive, constatou-se, ao efetuar um levantamento, que as caixas estavam chumbadas em níveis diferentes entre si.

O encarregado identificou qual era realmente o problema e por isso, propôs o uso do gabarito. Na reunião, o encarregado emitiu seu parecer, justificando porque a real causa do problema era a qualificação da mão de obra. No entanto, o engenheiro coordenador de instalações elétricas da sub-empregadora não aceitou que esse problema existisse e não levou a discussão adiante.

Reinertsen (1997) comenta a respeito da dificuldade das pessoas em aceitarem a existência de falhas e problemas quando estes estão associados a elas. Por esta razão, havia grande cautela ao conduzir a reunião, em não associar os problemas às pessoas. Aquele autor

comenta que a discussão e a veiculação de falhas decorrentes de fatos desconhecidos devem ser incentivadas porque promovem a geração do conhecimento e contribuem para não reincidência das mesmas. Assim, a reunião de fechamento do *FRS* encerrou sem que houvesse uma discussão aprofundada dos problemas levantados.

#### **5.2.3.4 Produção dos banheiros**

Conforme mencionado no capítulo anterior, foram acompanhadas sete duplas de banheiros, ou seja, todos os banheiros do 5º pavimento, com o intuito de verificar: (a) se os componentes do padrão estabelecidos no *FRS* eram seguidos na produção e, caso não fossem, porque isso ocorria; e (b) identificar os componentes do padrão que necessitavam das primeiras unidades de produção para serem definidos. Como a dupla de apartamentos do *FRS* localizava-se no quinto pavimento, a produção dos demais apartamentos iniciava neste andar com o objetivo de facilitar que eventuais dúvidas fossem sanadas com visitas às unidades do *FRS*.

Com relação aos elementos do padrão definidos por intermédio do *FRS*, a reunião de encerramento havia indicado o desenho do processo, tanto para as instalações elétricas, como para as instalações hidro-sanitárias em que foi estabelecida uma seqüência de montagem e as partes que seriam pré-montadas.

Uma vez resolvidos, no *FRS*, os problemas de projetos que se referiam às instalações de AF/AQ e esgoto, definida a seqüência de montagem dos ramais e os trechos que seriam pré-montados, o processo de produção tornava-se um exercício de montagem de conexões e a expectativa era de que estas equipes reduzissem nos primeiros banheiros o tempo de montagem e atingissem rapidamente um ritmo de produção estável. A Figura 5.30 mostra que isto de fato ocorreu já no 5º pavimento, em que as instalações dos primeiros banheiros eram executadas em dois dias, depois passando para um dia e meio e até um dia no caso da dupla mais habilidosa.

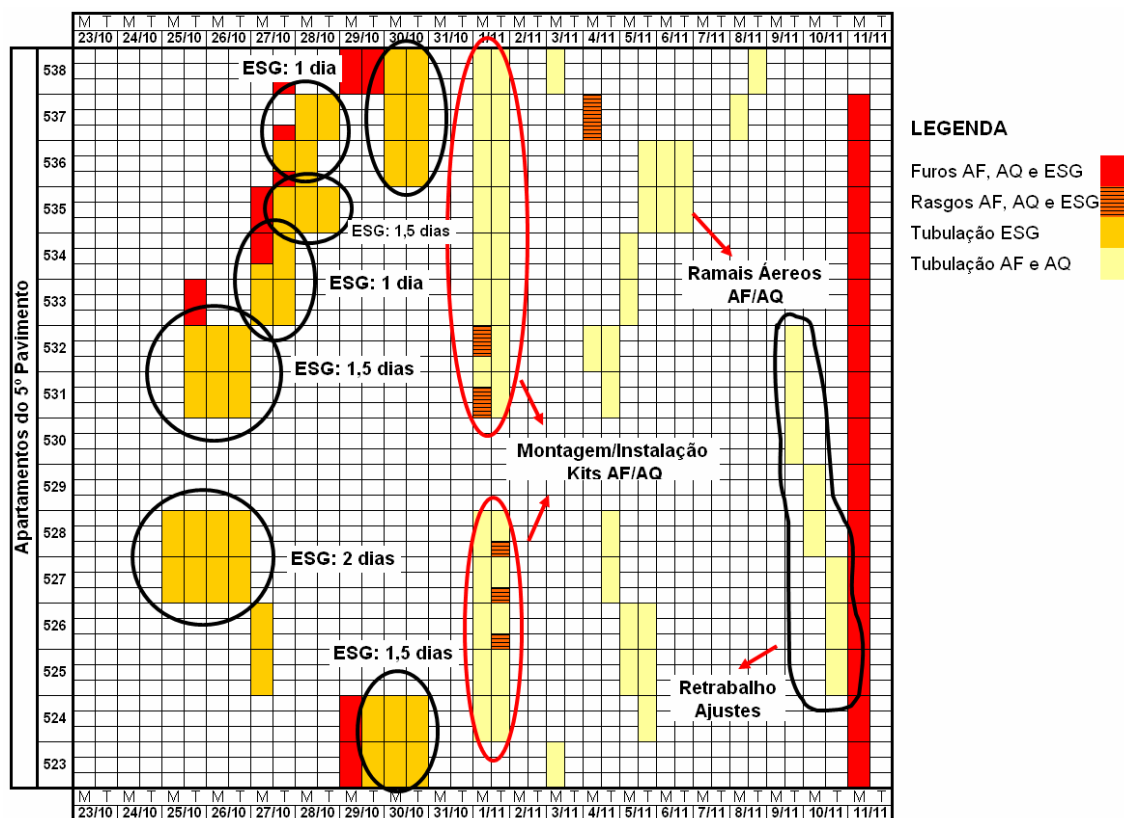


Figura 5.30 – Registro da produção nos banheiros (instalações AF/AQ e esgoto – 5º pavimento)

Ao final do segundo pavimento executado (6º pavimento), o engenheiro de produção, o encarregado da empresa de impermeabilização e o técnico responsável pela manutenção do hospital fizeram uma visita aos banheiros do *FRS* e identificaram a necessidade de inverter a posição do ralo do box. Segundo avaliação deles, haveria dificuldade de seguir as recomendações técnicas ao executar a impermeabilização do box. Conforme já comentado, o *FRS* dos banheiros abrangeu apenas as instalações porque a equipe avaliou que não haveria contribuições ao incluir as demais operações.

Com relação às instalações elétricas, os dados coletados no início da produção indicavam que a equipe não estava seguindo aquele desenho do processo definido a partir do *FRS* (opção da Figura 5.28 do item 5.2.3.2). Aquele desenho estabelecia que, os rasgos na alvenaria deveriam ser executados em duas etapas, primeiramente os rasgos de quadros e caixas e após o chumbamento destes e paralelamente à cura da argamassa, seriam executados os rasgos das tubulações. No entanto, a Figura 5.31 mostra que os rasgos dos quadros, caixas e tubulações eram executados de forma ininterrupta, isto é, vinha sendo adotada a opção A da Figura 5.25, a pior em termos de tempo de ciclo.

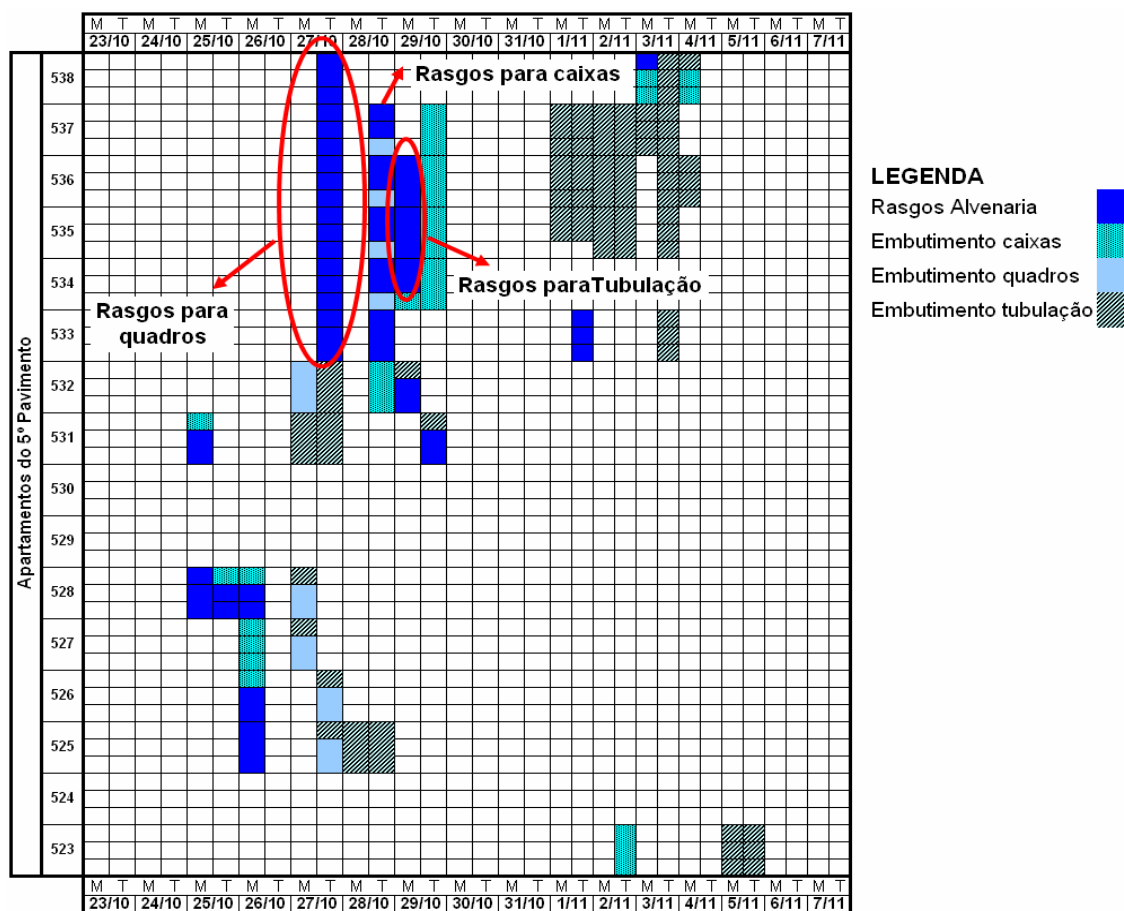


Figura 5.31 - Registro da produção nos banheiros (instalações elétricas – 5º pavimento)

O encarregado explicou que o desenho do processo definido a partir do *FRS* não vinha sendo obedecido devido à falha no suprimento das caixas de tomadas e interruptores. Para evitar que a equipe ficasse ociosa, orientou-os para que prosseguissem executando os rasgos das tubulações até que o material fosse entregue.

Ao término das sete duplas de banheiros, não foi realizada uma reunião conjunta da equipe para reflexão dos fatos ocorridos nesta etapa. A pesquisadora optou por não solicitar esta reunião pelas seguintes razões: (a) os fatos ocorridos eram do conhecimento do engenheiro de produção e engenheiro de contrato da obra porque a equipe (pesquisadores e encarregados) reportava os mesmos a ambos com a intenção de provocar uma reunião para reflexão e solução; (b) o retorno do prazo de execução para janeiro havia provocado um ambiente de pressão psicológica nos gerentes da empresa A e um acúmulo de tarefas relacionadas à reprogramação da obra e (c) o principal objetivo ao acompanhar o início da produção era identificar se os elementos do padrão definidos no *FRS* eram seguidos na

produção e, caso não fossem, porque não eram. Considerou-se que este propósito foi atingido e será discutido ao final deste estudo.

#### 5.2.3.5 Execução do FRS do quarto

O *FRS* dos quartos foi iniciado em 03/11/04, ou seja, com um atraso de praticamente um mês em relação ao previsto e ilustrado na Figura 5.22. Apesar da avaliação na reunião de encerramento do *FRS* dos banheiros, os problemas de não remoção das restrições relacionadas à segurança e disponibilidade de recursos se repetiram no *FRS* dos quartos, prejudicando o início e a continuidade das tarefas.

Novamente havia a possibilidade de sobreposição do *FRS* e produção, não apenas devido ao atraso no início da produção dos dois quartos, mas também porque o cliente voltou atrás na concessão do prazo de entrega da ala de internação. O prazo inicial era final de janeiro, sendo depois prolongado para final de fevereiro por conta do atraso na contratação da sub-empiteira de instalações e ao final do mês de outubro, foi novamente estipulado para final de janeiro.

As primeiras operações executadas no *FRS* do quarto foram marcação e fixação de guias no piso e no teto e em seguida, fixação dos montantes e da primeira placa de gesso acartonado, conforme o previsto na elaboração do plano inicial.

Houve duas interrupções para discutir dúvidas acerca da atividade de gesso acartonado que surgiram ao longo da execução do *FRS* e uma manhã para aguardar a entrega das placas de gesso. Das duas interrupções para discutir dúvidas, uma foi para definir a posição das guias horizontais em relação à linha de pilares que separava os quartos, pois os eixos destes não estavam alinhados e outra para definir a posição do reforço onde seria fixada a régua que abrigava as descidas de tubulações atrás do leito do paciente. A duração total das operações do gesso acartonado foi de um dia e três horas, sendo que as interrupções consumiram uma manhã e duas horas.

Segundo a previsão feita quando da elaboração da rede de precedências em conjunto com as empresas sub-empiteiras, a execução das operações de fixação dos perfis (estrutura), instalação do reforço e fixação da primeira placa deveria ocorrer em três dias. Após o término do serviço de gesso acartonado nos dois primeiros quartos, a conclusão era de que apenas meio dia seria suficiente ao invés dos três previstos pelos montadores na época da elaboração do plano inicial.

Embora não houvesse a expectativa de cumprir no *FRS* as durações previstas no plano inicial, ficou claro para os pesquisadores que a duração inicial de três dias era exagerada e que meio dia seria suficiente para executar as operações do gesso acartonado dos dois quartos. Ainda que nos próximos quartos fosse aprimorado o conhecimento da capacidade de produção da dupla que executava o gesso acartonado, foi alterada a duração desta atividade no *phase scheduling*.

Não houve discussões a respeito da distribuição das operações entre os dois operários que trabalhavam, buscando um desenho do processo que consumisse menos tempo. Alguns fatos contribuíram para que não houvesse predisposição para discutir métodos alternativos: (a) um dos operários era o próprio encarregado e mostrou-se pouco aberto para discutir formas diferentes de executar aquelas operações; (b) não havia acompanhamento do representante da empresa de gesso acartonado que compareceu apenas na reunião de preparação do estudo; (c) a atividade de gesso acartonado nos quartos tinha um grau de complexidade bastante baixo, uma vez que se resumia a uma parede que dividia os quartos, sem qualquer recorte e (d) a atividade de gesso acartonado era significativamente mais rápida do que as atividades subsequentes, portanto, aumentar a capacidade de produção desta equipe não traria benefícios.

As próximas operações a serem executadas no *FRS* dos quartos foram: instalações de gás e elétricas, sendo que ambas tinham parte da tubulação deslocando-se horizontalmente pelo forro e outra parte descendo entre as placas de gesso até os pontos de utilização que ficavam abrigados em uma régua na cabeceira do leito do paciente conforme mostram as Figuras 5.32 e 5.33.



Reforço para  
fixação da  
régua

**Figura 5.32 – Descida das tubulações elétricas e de gás**



**Figura 5.33 – Régua na cabeceira do leito do paciente**

No momento em que estavam sendo executadas estas tubulações nos dois quartos, o cliente não havia definido ainda que tipo de régua seria utilizado na cabeceira do leito do paciente. O projeto elétrico e de gás simplesmente consideravam que a régua fosse do tipo horizontal, porém o projeto arquitetônico não apresentava qualquer detalhe relativo à mesma. Esta definição era importante porque se refletia no nível de chegada para os pontos de utilização, na extensão do pente de tubulações e, conseqüentemente, no encaminhamento adequado das tubulações no teto. Porém, por insistência do engenheiro de produção e de contrato, a execução da tubulação no teto foi iniciada para que se ganhasse tempo até que a decisão fosse tomada.

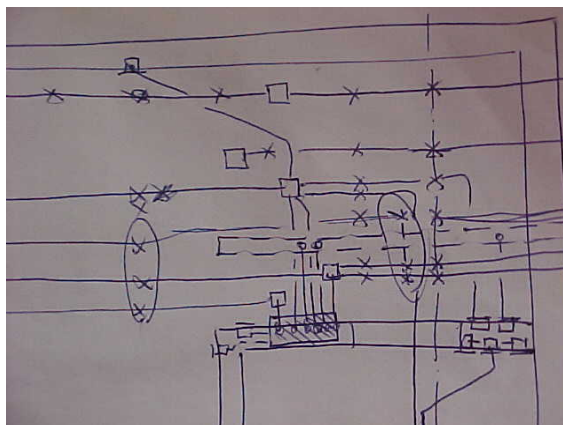
A operação tubulação no teto foi iniciada no dia 06/11 e encerrada apenas no dia 30/11 porque foram executadas três versões, sendo que nenhuma delas seguia o projeto que previa grande quantidade de curvas no encaminhamento da tubulação.

A primeira versão executada no quarto 530 foi definida por um grupo de pessoas que incluía o encarregado, os operários e o chefe de manutenção do hospital e substituiu grande parte das curvas por caixas de passagem, visando a facilitar a execução da tubulação, da enfição e da manutenção.

Esta proposta não foi aprovada pelo engenheiro coordenador de instalações elétricas da sub-empresiteira que julgou que o acréscimo das caixas de passagem elevava o custo da atividade. Portanto, ao iniciar a tubulação da laje do segundo quarto (apartamento 529), foi executada a versão do engenheiro coordenador que previa menos caixas de passagem e mudanças no encaminhamento da tubulação, privilegiando a redução no custo dos materiais.

Por fim, a terceira versão foi executada no quarto 530, depois de retirada a tubulação da primeira versão, e resultou de um acordo entre o pessoal da produção (encarregado, operários e chefe de manutenção do hospital) e o engenheiro coordenador da sub-empresiteira. Foi necessário registrar no papel o que havia sido acordado para que fosse reproduzido nos 60 quartos restantes. A Figura 5.34 indica a solução definida a partir do *FRS*.

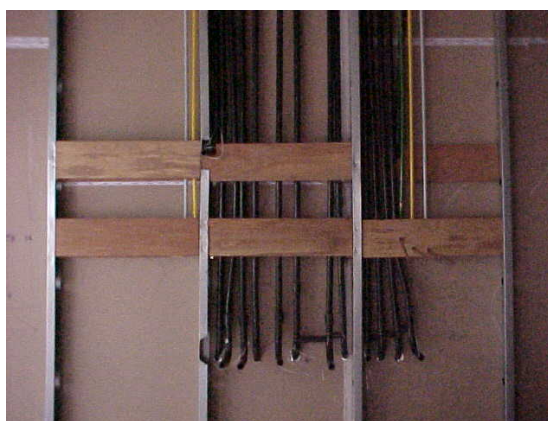




**Figura 5.34 – Solução do *FRS* para as tubulações no teto (instalações elétricas)**

Após definir o trajeto da tubulação no teto, as equipes de instalações elétricas e de gás se depararam com outro problema: como abrigar as tubulações de descida das instalações elétricas e de gás e o reforço para fixação da régua na cabeceira do leito, tendo em vista a espessura do vão da parede de gesso acartonado (perfil 7,2mm)?

A solução encontrada está representada na Figura 5.35. A indefinição do tipo de régua mantinha-se como fonte de incerteza porque a sua extensão poderia não ser suficiente para abrigar o pente de tubulações. Os engenheiros de contrato e de produção contornaram o impasse afirmando que a extensão da régua não seria problema e que a informação quanto ao eixo do leito seria suficiente naquele momento.



**Figura 5.35 – Solução para o pente de tubulações na cabeceira do leito do paciente**

Embora tenham ocorrido freqüentes interrupções para discussões e experimentadas várias alternativas, a equipe (operários, encarregado, engenheiro da sub-empiteira e os pesquisadores) que acompanhava continuamente o *FRS* adquiriu maior segurança no que referia a duração das operações de instalações elétricas do quarto. Além disso, foram

identificadas operações que não haviam sido previstas quando da elaboração da rede de precedências. O desenho apresentado na Figura 5.36 mostra todas as operações de responsabilidade da equipe de instalações elétricas para construção do quarto, destacando em cor escura aquelas que foram identificadas somente após o *FRS*.

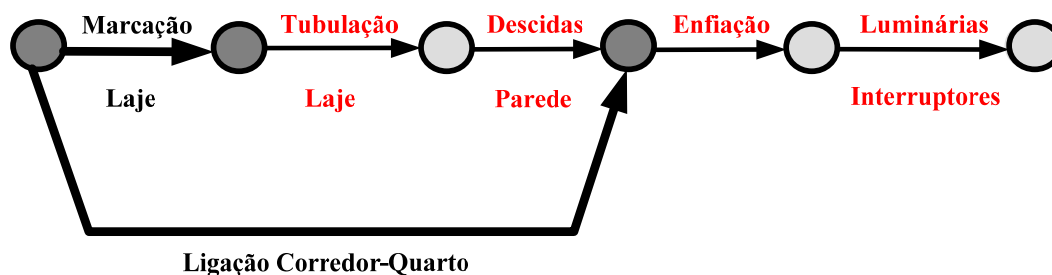


Figura 5.36 -- Operações de instalações elétricas do quarto

A rede de precedências elaborada anteriormente previa um dia para a execução de tubulação no teto (laje) e um dia para as descidas (tubulações na parede) para o lote de dois quartos. Esta informação foi utilizada para o *phase scheduling* dos sessenta quartos da ala de internação que deveria ocorrer em sessenta dias.

Após o *FRS*, a equipe concluiu que para cumprir estes prazos eram necessárias duas duplas de operários, uma dupla em cada quarto. Mesmo com duas duplas, a equipe tinha consciência de que a meta de apenas 1 dia para execução das tubulações no teto (incluindo também a marcação) não era facilmente cumprida.

No entanto, como a empresa A estava empenhada em seguir as metas traçadas no *phase scheduling*, a equipe de instalações elétricas dedicaria a produção das primeiras unidades de quartos para encontrar uma solução para cumprir a execução da operação tubulação na laje de dois quartos adjacentes em um dia.

A instalação da esquadria foi a última operação executada no *FRS*, antes que a produção dos demais quartos se iniciasse. O fornecedor aderiu à idéia do *FRS* e enfatizou a importância de seguir todos os passos necessários para a instalação da esquadria naquela oportunidade. Os procedimentos eram: colocação do peitoril, chumbamento do contramarco, aplicação de selador nos requadros em argamassa e execução da textura. O cumprimento desta sequência no *FRS* era importante porque permitiria identificar as tolerâncias dimensionais para que a esquadria encaixasse no vão.

Dez dias após a visita do fornecedor a esquadria foi instalada sem que tivesse sido aplicado o selador e executada a textura. O engenheiro de produção alegava não haver tempo hábil para cumprir todos estes procedimentos, tendo em vista a urgência em fechar o vão para evitar danos ao gesso acartonado. Além disso, o engenheiro mencionou a dificuldade de deslocar o pintor para aquele empreendimento para executar a textura em apenas dois vãos de esquadria.

No dia 01/12/04 foi iniciada a produção dos sessenta apartamentos restantes e interrompidas as atividades nos dois quartos do *FRS*, que ficaram restritas ao gesso acartonado (perfis e primeira placa), às instalações de gás e elétricas e à instalação da esquadria. Posteriormente foi retomada a construção dos dois quartos para executar a enfição, a instalação da segunda placa de gesso acartonado, do ar condicionado, das luminárias, da régua, do forro de gesso, o revestimento de piso, o assentamento das portas e a pintura.

Era necessário que a produção contemplasse todas as operações do quarto, pois conforme mencionado anteriormente, um dos propósitos era a aprovação do produto junto ao cliente. Além disso, havia receio de que operações com baixo potencial para apresentar problemas e, diante da pressão do tempo, não executadas no *FRS*, os revelassem tardiamente, causando quebra de ritmo na produção e retrabalho.

No entanto, nesta época a produção estava sob intensa pressão para cumprimento de prazos e cada sub-empreiteira executou sua parte em apenas um dos quartos sem levantar problemas. Pela mesma razão, após o *FRS* dos quartos não houve uma reunião para reflexão conjunta.

#### **5.2.3.6 Produção dos quartos**

Como apenas a atividade de instalação da tubulação no teto foi claramente submetida a experimentação no *FRS*, somente esta atividade foi acompanhada na produção dos quartos.

Com o objetivo de encontrar uma solução que permitisse um tempo de ciclo de um dia para a execução da tubulação de laje do teto, a equipe dedicou esforços para identificar as operações que consumiam mais tempo dos operários e que seriam candidatas a melhorias. Já na etapa de *FRS*, havia ficado evidente para a dupla de operários que a operação execução de curvas na tubulação era a que consumia maior parte do tempo.

A execução de curva na tubulação compreendia as seguintes operações: 1- descer da escada para pegar o maçarico; 2- aquecer a tubulação; 3- executar a curva; 4-subir na escada e, 5- testar o raio da curva. Normalmente, estas operações se repetiam mais de uma vez.

A Figura 5.37 mostra que havia duas situações que exigiam que fossem feitas curvas na tubulação: (a) mudança de direção no trajeto (encaminhamento) da tubulação e (b) cruzamentos (sobreposição) de tubulações. As curvas decorrentes da primeira situação foram reduzidas no *FRS*, quando foi redefinido o encaminhamento da tubulação do teto.

Os dois operários observaram que uma medida para reduzir a quantidade de curvas decorrentes do cruzamento de tubulações era: executar primeiramente todas as tubulações no sentido longitudinal do quarto, uma vez que estas eram em maior número, e depois, as tubulações transversais a estas. Esta diretriz foi estabelecida na primeira dupla de quartos dos sessenta restantes e reduziu a quantidade de curvas nas sobreposições das tubulações.

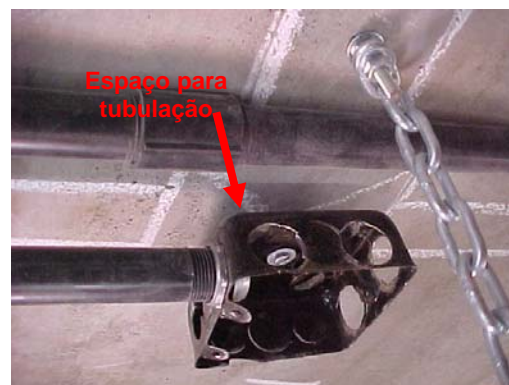
A seguir, outra diretriz, encontrada a partir de discussões entre o engenheiro de instalações, o encarregado e os operários, possibilitou eliminar totalmente a operação execução de curvas nas sobreposições. Esta diretriz consistia em efetuar a fixação das caixas de passagem que recebiam a tubulação sobreposta em um nível diferente, ocasionando um afastamento em relação à laje que evitava a necessidade de efetuar a curva (Figura 5.38). Este afastamento se dava pela fixação da caixa de passagem em uma talisca de madeira (galga), cuja espessura era um pouco maior do que o diâmetro da tubulação.

Esta diretriz eliminou a operação execução de curvas na sobreposição da tubulação, seguindo os preceitos de Shingo (1996a, 1996b), uma vez que privilegiava o processo ao eliminar a operação ao invés de melhorá-la.

A diretriz que determinava a fixação das tubulações longitudinais antes das transversais continuou a ser seguida, embora não houvesse mais a necessidade de executar curvas na sobreposição das tubulações. A justificativa dos operários era de que este procedimento de executar todas as tubulações na longitudinal e depois todas na transversal facilitava a visualização do trabalho pronto. Os mesmos argumentaram ainda, que este procedimento facilitava a execução, uma vez que as tubulações transversais se sobrepunham às longitudinais.



**Figura 5.37– Sobreposição de tubulações**



**Figura 5.38 – Solução encontrada para evitar a curva**

A operação de marcação da tubulação na laje incluía reproduzir em giz a solução de encaminhamento da tubulação no teto estabelecida no *FRS* (Figura 5.39). Esta operação era executada por um operário selecionado pelo encarregado por suas aptidões em efetuar tarefas que exigissem precisão e ao mesmo tempo rapidez. Após efetuar a marcação de 5 quartos, o mesmo já era capaz de reproduzir a marcação mentalmente, sem a necessidade de utilizar um mapa que ele mesmo havia elaborado com base no desenho da Figura 5.34 para auxiliá-lo nesta tarefa.

A partir do quinto quarto, a operação de marcação na laje passou a incluir a operação de fixação das caixinhas de passagem, além da reprodução com giz do encaminhamento da tubulação. Esta modificação foi feita porque o encarregado e o engenheiro da sub-empresiteira observaram que esta medida permitia que a segunda operação na sequência (execução dos ramais) fosse executada em menos tempo, reduzindo o prazo total de execução dos sessenta quartos.

Na verdade, o que o encarregado e o engenheiro da sub-empresiteira buscaram nesta terceira dupla de quartos foi uma redistribuição das operações entre as duas equipes, reduzindo o trabalho em progresso entre as operações de marcação e de fixação da tubulação. No entanto, o que ambos mencionavam era a necessidade de aumentar a velocidade de execução da operação de tubulação no teto que era lenta.



Figura 5.39 – Marcação na laje

As Figuras 5.40 e 5.41 ilustram como ocorreu a evolução das diretrizes adotadas em função do entendimento do método de trabalho por parte da equipe e da busca em atingir o tempo de ciclo de 1 dia para tubulação de teto da dupla de quartos.

Como a duração da operação de marcação da laje e fixação das caixas de passagem era pouco suscetível à variabilidade, havia a possibilidade de evoluir no estudo das operações com o objetivo de reduzir ainda mais o trabalho em progresso e, consequentemente, o tempo de ciclo.

Destaca-se que não houve uma avaliação da variabilidade nas durações das operações em função do pequeno número de quartos acompanhados. No entanto, segundo a avaliação do encarregado e do engenheiro de instalações elétricas, a operação de marcação da laje e fixação das caixas de passagem era pouco suscetível à variabilidade em função da simplicidade da operação e do fato do operário já ter memorizado o mapa de encaminhamento da tubulação e posicionamento das caixas de passagem.

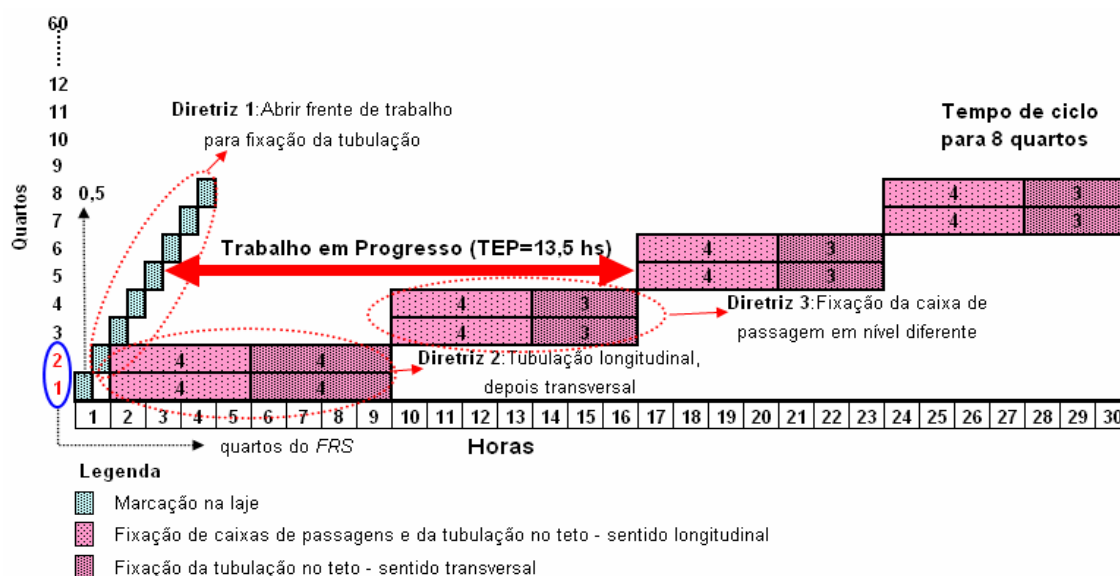
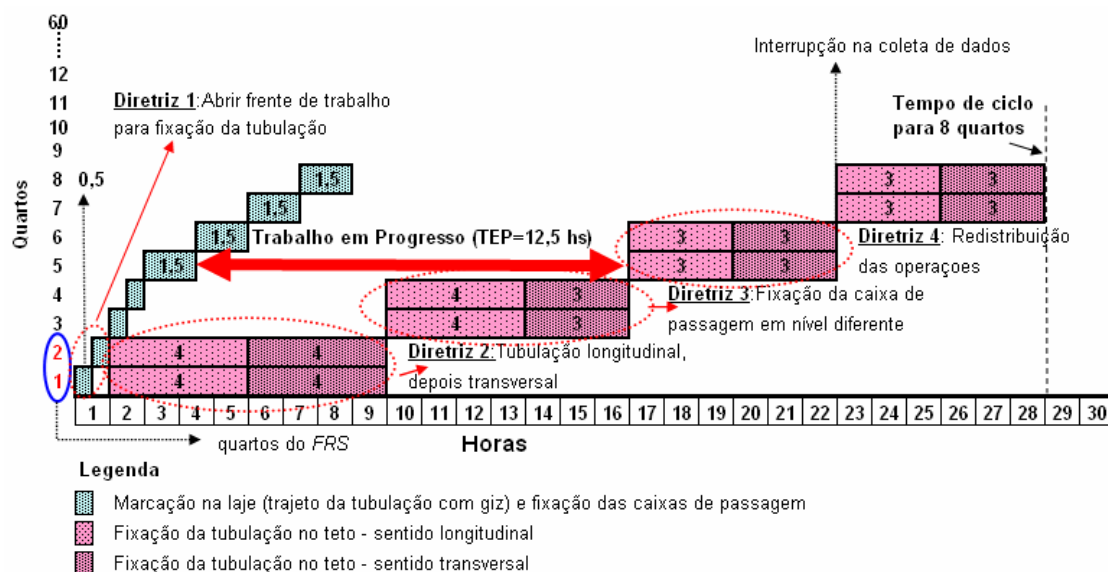


Figura 5.40 – Diretrizes adotadas com base no FRS e nos dois primeiros quartos



**Figura 5.41 – Diretriz adotada para redução do trabalho em progresso**

O trabalho em progresso ainda existente entre as duas operações poderia ser reduzido se o operário que executava a marcação e fixação das caixas de passagem efetuasse o pré-corte da tubulação, enriquecendo a sua tarefa e reduzindo a duração da operação seguinte (fixação de tubulação no teto). Outra possibilidade era analisar detalhadamente as micro-operações que compunham operação de fixação de tubulação no teto, buscando reduzir ainda mais sua duração.

No entanto, não foi dada continuidade aos estudos porque o encarregado e o engenheiro da sub-empresiteira tinham receio de que modificações naquele momento viessem a comprometer a meta que, embora ao final do *FRS* parecesse difícil, vinha sendo cumprida.

Em síntese, houve um detalhamento no desenho do processo que iniciou ao nível das macro-operações, envolvendo os ramais no teto, e evoluiu, especificando uma determinada sequência a ser seguida para a operação de fixação da tubulação no teto. Observou-se que o detalhamento evoluiria na medida em que ao buscar atingir uma meta menor do que um dia, houvesse um novo estudo do processo com o objetivo de reduzir o trabalho em progresso entre as operações de marcação na laje e fixação da tubulação no teto e, em seguida, outro aprofundamento a nível, por exemplo, da operação de fixação da tubulação no teto, e assim prosseguisse até chegar ao nível das micro-operações, por exemplo, execução de curva da tubulação.

### 5.2.4 Entrevistas

O Quadro 5.4 sintetiza o conteúdo das entrevistas relativo às contribuições do *FRS* segundo a percepção do engenheiro de instalações hidro-sanitárias e do encarregado de instalações elétricas. Embora o foco da pesquisa seja a contribuição para os componentes do padrão, o quadro apresenta resultados não apenas relacionados aos componentes do padrão a entrevista iniciava com um depoimento espontâneo a respeito das contribuições do *FRS*. Os resultados da entrevista associados aos componentes do padrão estão sombreados no quadro.

**Quadro 5.4 – Síntese do resultado das entrevistas – contribuições do *FRS***

Resultados Entrevista	Engenheiro de Instalações Hidrossanitárias	Encarregado de Instalações Elétricas
Projeto	Projeto dos ramais foi re-elaborado após várias montagens e desmontagens. Isto poderia ter sido evitado com o uso de um desenho em 3D dos ramais.	Projeto dos ramais de distribuição do teto foi re-elaborado. A aprovação do quarto pelo cliente resultou em mudanças nas posições de interruptores/tomadas.
Conteúdo do Trabalho	Treinamento para execução da AF/AQ utilizando termo-fusão. Identificada a necessidade de furos na laje e na viga do banheiro.	Identificação de operações não incluídas no início do <i>FRS</i> . Entendimento aprimorado das operações para executar ramais.
Restrições e diretrizes	Facilidade de montagem em função do espaço, determinou sequência de entrada das equipes e trechos a serem pré-montados.	Nos quartos, a sequência de montagem das tubulações transversais e longitudinais foi função da necessidade de eliminar curvas.
Desenho do processo	Sequência de entrada das equipes: primeiro ESG e depois AF/AQ. Trechos pré-montados.	Definidos métodos que reduziam o tempo de execução dos ramais no banheiro e teto do quarto.
Duração das operações (Capacidade de produção)	A duração já era conhecida com base na experiência do encarregado e do engenheiro da sub-empiteira. Nos primeiros banheiros foi verificada a possibilidade de redução do tempo.	Execução repetida das operações no <i>FRS</i> permitiu avaliar dificuldades menosprezadas e identificar a capacidade de produção da dupla de operários.
Quantificação de recursos	Quantificação precisa dos materiais de cada banheiro.	Definição da equipe e quantidade de equipes para as operações cuja capacidade de produção foi identificada no <i>FRS</i> . Quantificação de materiais. O feixe de tubulação de cada quarto era depositado dentro do mesmo.
Espaço e Acesso ao local de trabalho (materiais e mão de obra)	Forma de transporte de materiais para a produção não será a mesma do <i>FRS</i> (quantidade de material e serviços que compartilham a grua é diferente). O espaço repercutiu na sequência e partes a pré-montar.	Idem instalações hidro-sanitárias.
Referência para medidas	O <i>FRS</i> estabeleceu referências para montagem de kits	O <i>FRS</i> estabeleceu referências para medidas em outros banheiros.



Além disso, as contribuições não diretamente ligadas aos componentes do padrão têm relação com o contexto em que a padronização está inserida e, por esta razão, serão discutidas adiante.

As contribuições relacionadas ao projeto, desenho do processo, às durações das operações, à quantificação de materiais e à referência para medidas foram relatadas espontaneamente pelos entrevistados.

Com relação à referência para medidas, o encarregado de instalações elétricas destacou que algumas vezes os operários retornavam às unidades do *FRS* para checar medidas. Porém, o mesmo observou que poderia haver casos em que as variações nas dimensões dos banheiros e quartos implicassem em dificuldades para replicar as soluções definidas no *FRS*. Como exemplos, o encarregado citou que a pré-montagem de *kits* para os ramais da parede de banheiros ou o pré-corte da tubulação para os ramais no teto com base no *FRS* poderiam não ser adequados para outras unidades.

O relato das demais contribuições, conteúdo do trabalho, restrições, identificação do acesso de materiais ao local de trabalho, da equipe de mão de obra, das ferramentas e equipamentos de proteção individual foi estimulado. O Quadro 5.5 apresenta os requisitos para implementar o *FRS* ao nível da padronização.

**Quadro 5.5 – Síntese do resultado das entrevistas – requisitos para implementar o *FRS***

<b>Resultados Entrevista</b>	<b>Engenheiro de Instalações Hidrossanitárias</b>	<b>Encarregado de Instalações Elétricas</b>
O que poderia ter acontecido diferente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior atenção da empresa A</li> <li>- Repasse ao cliente da filosofia do <i>FRS</i> (evitar demora nas decisões)</li> <li>- Qualidade da informação no projeto</li> <li>- Banheiro totalmente executado no <i>FRS</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior atenção da empresa A</li> <li>- Mostrar ao cliente os benefícios do <i>FRS</i> para que houvesse maior agilidade nas tomadas de decisões.</li> </ul>
Abertura para discutir problemas e para experimentação	Houve abertura para experimentações, porém, estas foram prejudicadas por indefinições do cliente e falta de reuniões para tomar decisões.	A experimentação poderia ser mais intensa se não houvesse pressão do tempo e demora nas definições. Houve poucas reuniões com a participação do engenheiro da empresa A.
Uso de dispositivos para facilitar a comunicação ao longo do <i>FRS</i>	Não houve falta de dispositivos para comunicação quando da identificação de problemas. Faltava agilidade na tomada de decisão para disponibilizar a informação.	Um dispositivo para comunicação poderia ser útil, mas a demora estava na solução dos problemas levantados. Estes dependiam de decisões do cliente porque o projeto era falho.

Os entrevistados destacaram a necessidade de participação ativa dos gerentes e de minimizar os detalhes do produto a serem resolvidos no *FRS*. Segundo o engenheiro de

instalações hidro-sanitárias, definições do eixo das louças e do mobiliário do banheiro não geravam dúvidas que justificassem uma discussão na etapa de produção. O mesmo acrescentou que o encaminhamento dos ramais do esgoto que consumiram várias tentativas no *FRS* poderia ser definido no projeto com uso do 3D e das conexões e tubulações disponibilizadas pelos fabricantes em arquivos digitais para este fim.

Também foi comentada a necessidade de esclarecer os propósitos do *FRS* a todos os envolvidos, inclusive ao cliente que, neste caso tinha grande influência na decisão de detalhes do produto não definidos previamente.

Por fim, foi mencionada a necessidade de levar o *FRS* até a execução completa do produto. O engenheiro de instalações mencionou esta necessidade porque havia informações não esclarecidas no projeto, relativas a serviços não incluídos no *FRS*, que resultaram em retrabalho na etapa de produção.

O questionamento quanto à abertura para discutir problemas e para experimentação foi levantado pela pesquisadora com base nos fatos observados na reunião de encerramento do *FRS* dos banheiros e nas citações obtidas da literatura. Reinertsen (1997) comenta a respeito da dificuldade das pessoas em aceitarem a existência de falhas e problemas quando estes estão associados a elas e Vera e Crossan (2005) mencionam que a cultura voltada à experimentação implica em atitudes de anuência com relação a novas idéias, disposição para discuti-las, testá-las e tolerância a erros. Entretanto, o que foi enfatizado no depoimento dos entrevistados foi a necessidade das discussões ocorrerem no local e no momento em que os problemas se manifestam e com a presença de quem toma a decisão.

Outro requisito cujo questionamento foi estimulado em função das observações em campo foi o uso de dispositivos que facilitassem a comunicação entre operários, encarregados, mestres e engenheiros no momento da identificação de problemas.

Este dispositivo foi considerado útil em dois momentos<sup>43</sup> ao longo do *FRS* porque os operários e encarregados das sub-empreiteiras permaneceram no local por longo período de tempo, aguardando o engenheiro da empresa A para discutir uma solução. Este dispositivo, denominado pelos japoneses de *andon* (MONDEN, 1998 e LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2003), é utilizado para comunicar a ocorrência de um problema e dar início ao

---

<sup>43</sup> Em um primeiro momento, na fixação das guias horizontais do gesso acartonado, quando foi detectado que os eixos dos pilares não estavam alinhados e em um segundo momento, quando houve dificuldade em abrigar as tubulações de instalações elétricas e de gás e o reforço para fixação da régua na cabeceira do leito do paciente.

processo de solução. Porém, segundo os entrevistados, a maior demora se dava na definição de uma proposta para o problema levantado, especialmente quando envolvia o cliente.

## **5.2.5 Consolidação dos Resultados**

### **5.2.5.1 Contribuições do *FRS***

#### **5.2.5.1.1 *Para o projeto***

Apesar da revisão e compatibilização dos projetos na fase de preparação do *FRS*, uma considerável parte da experimentação foi voltada à solução de detalhes relacionados ao produto não definidos na etapa de projeto, especialmente no caso das instalações hidro-sanitárias do banheiro e das instalações elétricas do quarto.

Entretanto, ressalta-se que em ambas as situações, as discussões relativas ao produto propiciadas pelo *FRS* poderiam ter sido, ao menos, parcialmente, antecipadas na etapa de projeto por intermédio da prototipagem virtual, no caso das instalações hidro-sanitárias, e da participação de pessoas com experiência em execução, no caso das instalações elétricas.

#### **5.2.5.1.2 *Para os componentes do padrão***

O Quadro 5.6 apresenta os resultados do *FRS* dos banheiros, identificando (a) os componentes do padrão cujo entendimento foi propiciado pelo *FRS*; (b) destes componentes, quais foram efetivamente implementados na produção; e (c) quais componentes foram definidos ou revisados com base na evolução do entendimento do processo de produção ocorrido nas primeiras unidades de produção (banheiros do 5º pavimento).

O Quadro 5.6 indica que o *FRS* dos banheiros foi empregado para propor desenhos do processo para as duas atividades envolvidas, instalações hidro-sanitárias e elétricas. No entanto, a diferença deu-se no tempo consumido para cada equipe definir o seu desenho do processo. Enquanto para as instalações hidro-sanitárias foram consumidos 4 dias do *FRS* para definir o desenho do processo, para as instalações elétricas foi necessário cerca de 1 dia. A principal razão para esta diferença foi o fato do *FRS* de instalações hidro-sanitárias apresentar um propósito menos focado do que o de instalações elétricas, envolvendo a aprovação do produto junto cliente além do estudo do processo de produção.

No caso das instalações hidro-sanitárias, o novo projeto de encaminhamento da tubulação e o desenho do processo foram definidos simultaneamente em função da limitação

de espaço para efetuar a montagem. Esta decisão ocorreu apenas no *FRS* porque o projeto em planta (2D) não permitia avaliar a dificuldade de montagem imposta pela limitação de espaço, sendo necessário experimentar a execução no local. No entanto, conforme observado pelo engenheiro da sub-empresiteira, esta decisão poderia ter sido antecipada através do uso do desenho 3D na etapa de projeto. Neste caso, é provável que coubesse ao *FRS* uma avaliação mais precisa da capacidade de produção, como de fato aconteceu nas primeiras unidades de produção e que, em seguida, houvesse uma reavaliação da distribuição das operações entre a dupla de operários que executava a montagem dos ramais.

**Quadro 5.6 – Componentes do padrão presentes nas discussões do *FRS* dos banheiros**

Componentes do Padrão (KONDO, 1991)	Componentes do padrão presentes nas discussões	<i>FRS</i>		Implementação		5º Pavto	
		ELE	HID	ELE	HID	ELE	HID
<b>META</b>	<b>(a) Meta:</b> definida com base na experiência do encarregado	-	-	-	-	-	-
<b>RESTRIÇÕES</b>	<b>(b) Espaço:</b> seqüência e pré-montagem dos ramais aéreos (ESG)	-	X	-	SIM	-	-
<b>MÉTODO</b> (com base nos elementos propostos por Ballard e Tommelein, 1999)	<b>(c) Conteúdo do trabalho:</b> furos na laje (AF/AQ) e viga (ESG), entendimento do processo por termo-fusão (AQ), ralo chuveiro.	-	X	-	SIM	-	X
	<b>(d) Desenho do processo:</b> operações simultâneas (ELE) e seqüência e pré-montagem (ESG)	X	X	NÃO	SIM	-	-
	<b>(e) Operações de set up</b>	-	-	-	-	-	-
	<b>(f) Capacidade de produção:</b> definida com base na experiência, porém, aprimorada.	-	-	-	-	-	X
	<b>(g) Lote mínimo de produção:</b> houve possibilidade, porém, não houve interesse.	X	☐	-	-	-	-
	<b>(h) Equipe:</b> definida previamente	-	-	-	-	-	-
	<b>(i) Espaço e acesso para a execução da tarefa:</b> no ESG	-	X	-	SIM	-	-
	<b>(j) Recursos compartilhados</b>	-	-	-	-	-	-
	<b>(k) Trabalho em progresso:</b> na execução dos rasgos (ELE)	X	-	NÃO	-	-	-
	<b>(l) Lote de entrega e armazenagem de materiais:</b>	-	-	-	-	-	-

**LEGENDA: X – Efetivamente discutido ☐ - Potencial para ser discutido e incorporado nos planos**

Os desenhos do processo propostos através do *FRS* para a execução dos ramais de instalação elétrica não apresentaram um grau de inovação elevado. No entanto, para a equipe que possuía pouca experiência em instalações prediais, foi necessário experimentar a proposta inicial de pré-montagem dos ramais com o objetivo de analisar a dificuldade em executá-la, para então, propor o desenho do processo que efetuava os rasgos em duas etapas, reduzindo o tempo de ciclo. Observa-se que neste caso, o *FRS* teve um propósito focado, sendo claramente empregado pela equipe para experimentar alternativas visando à redução do tempo de ciclo.

Apesar do sucesso do *FRS* de instalações elétricas para propor um desenho do processo que reduzisse o tempo de ciclo, o Quadro 5.6 mostra que o mesmo não foi empregado na produção propriamente dita porque a falta de material (caixas de tomadas e interruptores) obrigou o encarregado a seguir outro desenho do método.

No Quadro 5.7 estão apresentadas as contribuições do *FRS* dos quartos para a definição dos componentes do padrão. As mesmas são restritas aos ramais de distribuição de instalação elétrica no teto e nas paredes, não incluindo a enfição e a instalação de luminárias e interruptores, nem tampouco as demais atividades executadas por outras equipes. Esta limitação ocorreu porque apenas esta atividade do quarto foi executada no *FRS*. No item 5.2.5.3 são apresentadas as dificuldades que levaram a esta limitação e apresentadas propostas para superá-las.

**Quadro 5.7 – Componentes do padrão presentes nas discussões do *FRS* dos quartos (instalações elétricas)**

Componentes do Padrão (KONDO, 1991)	Componentes do padrão presentes nas discussões	<i>FRS</i>	Implementação	1ª e 2ª dupla	3ª dupla
<b>META</b>	<b>(a) Meta:</b> Definida com base no <i>phase scheduling</i>	-	-	-	-
<b>RESTRIÇÕES</b>	<b>(b1) Facilidade de execução:</b> ordem de fixação das tubulações transversais e longitudinais	-	-	X	-
	<b>(b2) Preferência do operário:</b> ordem de fixação das tubulações transversais e longitudinais	-	-	-	X
<b>MÉTODO</b> (com base nos elementos propostos por Ballard e Tommelein, 1999)	<b>(c) Conteúdo do trabalho:</b> Operações não identificadas anteriormente	X	SIM	X	-
	<b>(d) Desenho do processo:</b> Seqüência geral do processo ( <i>FRS</i> ) e redistribuição das operações (na produção)	X	SIM	X	X
	<b>(e) Operações de <i>set up</i></b>	-	-	-	-
	<b>(f) Capacidade de produção</b>	X	SIM	X	X
	<b>(g) Lote mínimo de produção:</b>	-	-	-	☐
	<b>(h) Equipe</b>	-	-	X	X
	<b>(i) Espaço e acesso para a execução da tarefa</b>	-	-	-	-
	<b>(j) Recursos compartilhados</b>	-	-	-	-
	<b>(k) Trabalho em progresso:</b> redução com a redistribuição das operações	-	-	-	X
	<b>(l) Lote de entrega e armazenagem de Materiais</b>	-	-	-	X

**LEGENDA:** X – Efetivamente discutido ☐ - Potencial para ser discutido e incorporado nos planos

Apenas ao final do *FRS*, a partir da avaliação do grau de dificuldade para executar as operações, foi identificada a capacidade de produção e, portanto, somente nas primeiras unidades da produção foi possível avançar discutindo alterações na composição da equipe e a redução do trabalho em progresso e do lote de produção.

O Quadro 5.7 indica que nas primeiras unidades de produção houve uma contribuição mais intensa do que no *FRS* para a definição dos componentes do padrão, especialmente no que diz respeito aos elementos do método voltados a obtenção do fluxo contínuo de produção (trabalho em progresso e lote de produção). No item 5.2.5.3 são apresentadas as razões que levaram à limitação nas contribuições do *FRS* sob o ponto de vista das diretrizes relativas à atividade de experimentação apresentadas no terceiro capítulo.

No entanto, observa-se que no que se refere à atuação nos elementos do método voltados a obtenção do fluxo contínuo, houve também limitações relacionadas à prática existente na construção civil, contrária à produção em pequenos lotes e com baixa quantidade de trabalho em progresso. A cultura voltada à manutenção de grandes estoques de produção tem raízes na alta variabilidade presente na construção civil (BALLARD; HOWELL, 1997a). Assim, mesmo em uma situação na qual havia estabilidade na capacidade de produção, não foi possível atuar na redução do tamanho do lote de produção.

Destaca-se que a continuidade nas experimentações nas primeiras unidades de produção ocorreu de forma espontânea<sup>44</sup>, em decorrência dos seguintes fatores: (a) da busca em cumprir a meta previamente estabelecida no *phase scheduling*; e (b) da percepção da equipe (engenheiro, encarregado e operários) de que as experimentações proporcionavam um entendimento crescente dos meios (método), permitindo identificar quais os problemas que dificultavam atingir a meta. Assim, ficou caracterizado um processo de prototipagem, também, nas primeiras unidades de produção.

Outro ponto a ser destacado refere-se ao fato de que o processo de experimentação se deu por intermédio de discussões informais no próprio local, porém de forma estruturada, isto é, houve um ciclo que envolvia definição de um plano de ação, a experimentação deste plano e a avaliação frente à meta que se propunha. Os dados (duração das operações) para embasar a avaliação eram coletados pelos próprios operários.

#### **5.2.5.1.3 Para a definição limites de tolerâncias dimensionais**

A ressalva do encarregado de instalações elétricas de que os *kits* pré-montados com base no *FRS* pudessem não ser adequados aos demais apartamentos indicou a necessidade de uma investigação complementar da contribuição do *FRS* como referência para medidas. Tal investigação tinha como objetivo explorar a contribuição do *FRS* para definir os limites de tolerâncias segundo os quais as soluções ali definidas pudessem ser replicadas na produção.

---

<sup>44</sup> O termo "de forma espontânea" é empregado porque o encarregado e o engenheiro da sub-empresiteira de instalações elétricas não foram estimulados a dar continuidade nas experimentações após o término do *FRS*, tendo em vista a pressão para o término da obra. As pesquisadoras haviam interrompido a coleta de dados, retomando ao detectar que ambos continuavam a buscar soluções e a experimentá-las no início da produção

#### **5.2.5.1.4 Para quantificação de recursos**

Ballard, Harper e Zabelle (2002) recomendam que o *FRS* seja empregado para redução da incerteza associada ao método de trabalho e após a disponibilização dos recursos para execução da tarefa, tais como, materiais, máquinas/equipamentos e mão de obra.

A contribuição do *FRS* para a quantificação precisa de recursos necessários foi citada por ambos os entrevistados. Assim, nas situações em que a quantificação precisa de recursos seja fator importante, os mesmos devem ser disponibilizados com folga suficiente para as experimentações no *FRS* e após a execução deste, deve-se definir a quantificação para produção. Neste caso, o *FRS* deve encerrar com antecedência necessária para que haja tempo hábil para disponibilizar os recursos para a produção.

#### **5.2.5.1.5 Para promover a aprendizagem em parceira**

Neste estudo, o *FRS* foi uma oportunidade para que o fornecedor da tubulação de AF/AQ ensinasse os operários da sub-empreiteira de instalações a utilizar uma tecnologia desconhecida.

O emprego da prototipagem é reconhecido por Ulrich e Eppinger (2000) como uma oportunidade para promover a aprendizagem em parceria na medida em que promove a comunicação entre os agentes interessados no produto submetido à prototipagem e a integração de seus interesses. Neste caso, havia a necessidade da sub-empreiteira aprender a utilizar a nova tecnologia e de outro lado, o interesse do fornecedor de que a sub-empreiteira empregasse corretamente seu produto.

Constatou-se que a comunicação foi estimulada porque se utilizava o *FRS* como um meio comum e concreto para o entendimento do fenômeno estudado, neste caso, o processo de montagem dos ramais de AF/AQ, contribuindo para acelerar o processo de aprendizagem de uso da nova tecnologia.

#### **5.2.5.2 Papel da prototipagem no detalhamento do método de trabalho padronizado**

Dois fatores estimularam o detalhamento do método de trabalho no início da produção: (a) a busca em atingir uma meta desafiadora ou em melhorá-la; e (b) a necessidade de cumprir as diretrizes decorrentes de uma restrição.



Neste segundo estudo, as restrições estavam associadas a limitações de espaço para executar o serviço, à facilidade de execução e a questões de preferência do operário ao executar o serviço. As duas primeiras podem ser englobadas em uma classe denominada construtibilidade. As restrições relacionadas à construtibilidade e à preferência do trabalhador resultaram do entendimento do método de trabalho diante das condições locais e levaram a um detalhamento deste, definindo uma especificação de que partes dos ramais pré-montar e uma determinada seqüência de execução. Estas diretrizes não se constituíam em procedimentos obrigatórios do método, no entanto, implicavam maior eficiência para executar a tarefa naquela situação específica que envolvia particularidades nas características do produto e uma meta desafiadora em termos de prazo.

As atividades submetidas à prototipagem neste estudo não se caracterizavam como inovadoras e, embora não tivessem um padrão explícito, havia certo conhecimento com relação aos seus métodos de trabalho. O fato do método ter sofrido um detalhamento em função de metas e restrições associadas ao produto indica que em contextos sujeitos à metas desafiadoras e a variações nas características do produto é possível que o método padronizado deva sofrer algum refinamento no início da produção, adequando-o àquela condição.

Os resultados deste estudo apontaram que a prototipagem realizada na produção intensifica o entendimento do método de trabalho adequado a uma situação específica, não apenas porque permite avaliar o contexto no qual a tarefa é executada, mas também porque faz uso de um meio comum para troca do conhecimento tácito. Assim, concluiu-se que cabe à prototipagem realizada na etapa de produção efetuar o refinamento do método de trabalho padronizado, adequando-o à situação específica.

Foi acompanhado um número limitado de unidades após o *FRS*. Assim, destaca-se que deve ser analisado em maior profundidade o escopo do método de trabalho padronizado em ambientes de alta incerteza como o da construção civil. Em situações favoráveis, nas quais os benefícios da prototipagem mencionados por Ulrich e Eppinger (2000) relacionados à cooperação e comunicação entre as organizações e à aprendizagem estejam presentes, deve ser analisada a proposição de que a intensificação do ciclo observação – reflexão – ação dificulte o cumprimento de um método detalhadamente prescrito. A exploração da prototipagem nestas condições deve favorecer a atuação das empresas em ambientes incertos conforme preconizam Chew, Leonard-Barton e Bohn (1991).

Esta abordagem da prototipagem vai de encontro ao estímulo de Howell e Koskela (2002) que destacam a necessidade de analisar outros aspectos da função gerenciamento, além

do planejamento, tais como organização, cooperação, comunicação e aprendizagem, especialmente em ambientes de alta incerteza em que o produto é único e a produção assume um caráter experimental, de constante depuração de erros ao longo dos ciclos de produção.

#### **5.2.5.3 Requisitos para implementar a prototipagem de forma a atingir a padronização**

Dois fatores afetaram a realização do *FRS*, impedindo uma contribuição mais intensa para a aprendizagem do processo de produção: (a) a sobreposição com a produção; e (b) a lentidão no tempo de resposta das questões investigadas.

Ballard e Howell (1997a) mencionam que a necessidade de atender a metas de prazos exíguos exerce pressão para o início da produção, constituindo-se em um fator limitante para que as experimentações e discussões no *FRS* ocorram com a intensidade necessária para o entendimento aprofundado do método de trabalho.

Diante desta afirmação de Ballard e Howell (1997a), foi reservado um prazo dilatado para a realização do *FRS*. No entanto, constatou-se que as principais razões para a ocorrência dos fatores supracitados foram a indisponibilidade de recursos necessários ao *FRS* e a carga excessiva de detalhes relacionados ao produto não suficientemente esclarecidos no projeto e resolvidos ao longo de todo o *FRS*. Estes problemas ocasionaram atraso no início do *FRS* e um prazo excessivamente longo para a sua realização.

Observa-se que no *FRS* dos quartos, todas as atividades deveriam ser executadas, o que significava que os recursos necessários às atividades de acabamento final e que seriam providenciados apenas mais adiante, tais como, pintura e luminárias também deveriam estar disponíveis para apenas dois apartamentos. Este fato causava certa sobrecarga à função do gerente de produção de disponibilizar os recursos para realização do *FRS*. A sobrecarga ficou evidente quando o engenheiro de produção mencionou a dificuldade em adquirir todo o material de acabamento e em deslocar sub-empregados para executar serviços em apenas dois quartos de internação, especialmente porque as demais frentes de serviço encontravam-se na fase de obra bruta (alvenaria e reboco).

Entretanto, observou-se que a indisponibilidade de recursos se estendia, também, aos serviços do *FRS* cuja produção iniciaria numa janela de tempo abrangida pelo planejamento de médio prazo, tais como, ramais de distribuição nos banheiros, gesso acartonado no quarto. Esta constatação mostrou que embora a empresa A tivesse o *Last Planner*<sup>MR</sup> implementado,

havia deficiência no suprimento de recursos na empresa A, indicando a existência de problemas mais profundos no sistema de gestão.

Com o objetivo de garantir um espaço de tempo suficiente para as experimentações, discussões e consolidação das lições aprendidas antes do início da produção, foi estabelecida como proposição a necessidade de inserção do *FRS* no planejamento de médio prazo. Esta proposição pressupunha o emprego efetivo do *Last Planner*<sup>MR</sup>, especialmente do planejamento de médio prazo, como requisito para a implementação da prototipagem e envolvia dois aspectos: (a) a inserção das atividades do *FRS* cuja produção ocorre em data além da sua janela de tempo e (b) a inserção de datas marco de início e término do *FRS*, atrelando-as, respectivamente, às atividades pré-requisitos e ao início da produção.

Esta proposição foi estabelecida apesar das dificuldades observadas com relação ao emprego efetivo do *Last Planner*<sup>MR</sup> na empresa A. Entendeu-se que esta dificuldade poderia ser função daquela situação específica, caracterizada por alto grau de incerteza com relação ao produto, interferência constante do cliente na definição do produto e nas contratações de terceiros (sub-empreiteiros e fornecedores), alterações no regime de contratação e prazos extremamente exíguos.

Esta proposição tinha respaldo na literatura através de Ballard, Harper e Zabelle (2002) e Ulrich e Eppinger (2000). Ballard, Harper e Zabelle (2002) recomendam a realização do *FRS* após a disponibilização dos recursos por intermédio do *Last Planner*<sup>MR</sup> e Ulrich e Eppinger (2000) destacam a importância de atrelar a execução do protótipo ao cronograma de desenvolvimento do produto final.

Embora os resultados tenham apontado o potencial do *FRS* para experimentar e aprovar o projeto do produto, confirmando a citação de Turner (2005) de que um estudo piloto pode contribuir para este fim e para o estudo do método de produção a ser adotado, constatou-se que a combinação de incertezas referentes a propósitos interdependentes potencializa o grau de incerteza a ser reduzido em um único *FRS*.

Portanto, outro requisito considerado necessário para a implementação do *FRS* com vistas à evolução no entendimento do método foi que o mesmo tivesse um propósito focado no processo de produção. No caso de haver a intenção de definir detalhes pendentes do produto e também melhorar o entendimento do processo de produção, concluiu-se que seria necessário que houvesse mais de um *FRS* e que cada um tivesse um propósito focado ou no produto ou no processo. Esta percepção é amparada pela afirmação de Ulrich e Eppinger

(2000) de que para acelerar o tempo de resposta da investigação, é comum utilizar simultaneamente ou de forma concatenada mais de um protótipo focado para estudar o desempenho global do produto, sendo que, em geral, um deles analisa a aparência do produto e outro(s) o aspecto operacional.

Ainda, no que diz respeito à utilização de protótipos mais focados com o objetivo de acelerar o tempo de resposta do fenômeno investigado e a aprendizagem, Ulrich e Eppinger (2000) e Thomke (2001) mencionam a necessidade de esclarecer o propósito da investigação visando à simplificação do protótipo. No entanto, é preciso uma avaliação detalhada, por parte das pessoas envolvidas, a respeito das atividades a serem incluídas no *FRS* frente ao propósito da investigação. Foi observado que uma simplificação excessiva pode impedir a antecipação de problemas que, posteriormente, se manifestam na produção, quando as condições para discuti-los são menos favoráveis do que no *FRS* em função da pressão dos prazos a serem cumpridos.

Destaca-se que a simplificação do protótipo, através da execução de apenas parte do produto, além de acelerar o tempo de resposta das questões investigadas e o processo de aprendizagem, reduziria a sobrecarga causada aos envolvidos na execução do protótipo. O impacto na sobrecarga causada aos envolvidos se daria, não apenas através da redução do tempo despendido na disponibilização dos recursos e na participação das discussões, mas também, porque a intensificação da aprendizagem motivaria as pessoas, constituindo-se em uma recompensa para a dedicação requerida ao realizar o *FRS*.

A afirmação de que a intensificação da aprendizagem poderia recompensar a sobrecarga causada pelo *FRS* é baseada no fato de que os engenheiros, encarregados e operários, especialmente de instalações elétricas, aderiram naturalmente às experimentações ao longo do *FRS* e nos primeiros quartos da produção propriamente dita. Destaca-se que os mesmos deram continuidade nas experimentações na produção, não apenas porque estavam instigados por uma meta desafiadora, mas também porque estavam estimulados, uma vez que testemunharam os benefícios da prototipagem para a evolução no entendimento do processo.

Observou-se, também, que no *FRS* dos quartos e dos banheiros, o encarregado de instalações elétricas liderou a sua equipe de forma a experimentar diferentes alternativas para cumprir uma meta difícil de ser cumprida, mesmo diante da pressão para o início da produção. A percepção da pesquisadora foi de que o encarregado de instalações elétricas apresentava uma predisposição para experimentar diferentes alternativas e tinha habilidade para envolver a

equipe para este fim. Este fato indicou a necessidade de investigações mais aprofundadas com o objetivo de analisar o perfil adequado das pessoas envolvidas na prototipagem.

### 5.2.6 Considerações Finais

Três requisitos haviam sido levantados para que a prototipagem pudesse contribuir mais intensamente para o entendimento do método de trabalho ao nível de atingir a definição do padrão: (a) participação mais ativa do gerente como agente facilitador do processo de aprendizagem da equipe; (b) antecipação de informações do processo por meio de outros tipos de prototipagem; e (c) atrelar o propósito da prototipagem à estratégia de produção.

O *FRS* foi utilizado para cumprir os dois primeiros requisitos por se tratar de um tipo de prototipagem que reserva um espaço de tempo antes da produção propriamente dita para experimentar métodos alternativos para execução da tarefa.

Este estudo confirmou os resultados do estudo anterior no que diz respeito à contribuição da prototipagem realizada na etapa de produção para a redução da incerteza de caráter epistemológico, indicando que a definição dos componentes do padrão ocorre da seguinte forma: no início ocorre o entendimento dos elementos do método de trabalho de forma evolutiva e, a partir deste, é possível (a) identificar as restrições; (b) especificar ou avaliar metas pré-estabelecidas; e (c) combinar os elementos do método, balizados pelas restrições, de forma que haja uma convergência do desempenho para a meta estabelecida.

No entanto, o *FRS* propiciou uma contribuição menos intensa do que as primeiras unidades de produção para o processo de definição dos componentes do padrão. Observou-se que a continuidade nas experimentações nas primeiras unidades de produção ocorreu de forma espontânea, em decorrência da busca de cumprir a meta previamente estabelecida.

Assim, houve três avanços neste estudo: (a) a constatação de que a experimentação ocorre de forma espontânea quando se busca cumprir uma meta a partir de um estudo sistemático do método de trabalho; (b) a constatação de que este estudo sistemático deve levar a um detalhamento do método de trabalho padronizado, adequando à situação em que a tarefa é executada; e (c) a evolução na identificação dos requisitos para implementar o *FRS* de forma a atingir o entendimento crescente do método. Os requisitos resultaram da observação das dificuldades que impediam que as melhores condições para experimentação oferecidas pelo *FRS* pudessem ser efetivamente aproveitadas para o entendimento do método.

Foram levantados dois principais requisitos: (a) que as atividades do *FRS* fossem inseridas no planejamento de médio prazo, visando a assegurar a disponibilidade dos *inputs* para sua execução; e b) que sejam realizados *FRSs* mais focados, visando a reduzir o tempo de resposta do fenômeno investigado, acelerar o processo de aprendizagem e reduzir a sobrecarga causada aos envolvidos na execução do protótipo.

Desta forma, a estabilidade na disponibilização dos recursos e, ao menos, grande parte das informações relativas ao produto previamente definidas foram consideradas condições necessárias para que houvesse evolução nas investigações das contribuições do *FRS*.

### 5.3 TERCEIRO ESTUDO DE CASO

#### 5.3.1 Considerações Iniciais

Conforme descrito no capítulo anterior, este estudo foi realizado em um ambiente que possuía menor incerteza.

Inicialmente, é apresentada uma descrição geral das atividades envolvidos no *FRS* e, em seguida, os resultados obtidos. Ao final é feita uma discussão acerca dos resultados deste estudo e uma reflexão destes com base nos avanços obtidos até esta etapa da pesquisa.

#### 5.3.2 Descrição geral dos serviços envolvidos no *FRS*

Apenas os serviços relacionados abaixo eram executados no *FRS*:

- Gesso acartonado: incluía a marcação das paredes, a instalação de perfis (guias e montantes) e a marcação das placas de gesso acartonado;
- Instalações elétricas: incluía a fixação de quadros e caixas, a colocação de eletrodutos e enfição;
- Instalação hidro-sanitárias: incluía os ramais aéreos de esgoto, AF/AQ, os ramais de distribuição na parede AF/AQ e a instalação de registros.

É importante observar que a empresa B construía o que o engenheiro coordenador da obra denominava apartamento decorado além do protótipo. Porém, destaca-se que ambos tinham finalidades e características diferentes.

O apartamento decorado era construído no interior do plantão de vendas, seis meses antes do início da obra e era utilizado para que o cliente pudesse conhecer o produto que

pretendia adquirir, ou seja, tinha um propósito comercial. O *FRS* era empregado para antecipar problemas que pudessem ocorrer na produção, isto é, tinha um propósito técnico.

Em função destes propósitos, o apartamento decorado incluía todos os serviços, inclusive os de acabamento, ao passo que o *FRS* abrangia apenas os serviços mencionados acima porque, conforme será esclarecido na apresentação dos resultados, a maioria dos problemas com repercussão na produção, no caso da empresa B, eram resolvidos por intermédio destes serviços. O *FRS* permanecia sem fechamento com as placas de gesso para que eventuais dúvidas das equipes pudessem ser sanadas com visitas àquela unidade.

### 5.3.3 Resultados

#### 5.3.3.1 Entrevistas

No início da entrevista, o engenheiro coordenador da obra fez alguns esclarecimentos gerais referentes à construção do apartamento do *FRS*:

- O início do *FRS* ocorria com uma antecedência de sessenta dias em relação à produção dos demais apartamentos e a aquisição dos materiais para sua construção com noventa dias;
- Os materiais para execução da etapa de gesso acartonado do apartamento do *FRS* eram cedidos pelo fornecedor sem qualquer ônus para a empresa B;
- Os sub-empregados responsáveis pelos demais serviços do *FRS* efetuavam a quantificação e solicitação dos materiais necessários, porém, o custo de aquisição dos mesmos era por conta da empresa B;
- A execução do *FRS* contava com a participação do engenheiro coordenador da obra, do diretor técnico da empresa B, dos projetistas (quando necessário), mestre e encarregados;
- As dimensões de desempenho valorizadas pela empresa B eram qualidade e custo. Por isso, na construção do protótipo, a redução de 10 centímetros de fio era motivo de reflexão para novas soluções;
- Após o término do *FRS* e antes do início da produção dos apartamentos era realizada uma reunião promovida pela empresa B com a presença de todos os agentes envolvidos: diretor técnico, coordenador da obra, mestre, encarregados, apontadores e operários. Nesta reunião, acontecia uma palestra proferida pelo

diretor técnico da empresa B, quando era enfatizada a mobilização para o início de uma nova etapa e a importância da sincronia entre as equipes. Também era apresentado um vídeo em que eram destacados os serviços pré-requisitos para cada operação e os procedimentos de execução, destacando alguns cuidados especiais.

Encerrada esta etapa da entrevista, os entrevistados passaram a emitir o parecer a respeito das contribuições do *FRS*.

O proprietário da sub-empresiteira de instalações elétricas destacou que o *FRS* era uma oportunidade para antecipar problemas que pudessem ocorrer na etapa de execução dos demais apartamentos, prejudicando o ritmo de produção. Este fato propiciava que a produção transcorresse de forma significativamente mais tranqüila do que em outras empresas com as quais ele trabalhava. Atualmente, ele que não acreditava nos benefícios do *FRS*, se considerava um defensor.

Quando questionado a respeito das razões pelas quais ele não acreditava nos benefícios do *FRS* e que tipo de problemas ele observava que eram antecipados, ele destacou:

- Construir um apartamento antecipadamente seria como construí-lo depois, na própria produção. Então, porque construir um apartamento antes?
- Atualmente ele percebia que a antecipação dos problemas era benéfica porque permitia tempo hábil para que os mesmos fossem resolvidos sem que houvesse interferência na produção;
- Os principais problemas antecipados pelo *FRS* e que refletiam nas operações de instalações elétricas eram a interferência com os perfis do gesso acartonado e a falta de materiais.

Outro ponto destacado pelo proprietário da sub-empresiteira como grande contribuição do *FRS* foi a assimilação por parte de todos os envolvidos da importância da etapa que se inicia após a sua execução, isto é a produção dos demais apartamentos. O entrevistado descreveu que esta conscientização ocorria por intermédio da reunião mencionada pelo engenheiro na primeira etapa da entrevista. O proprietário da sub-empresiteira argumentou que embora já conhecesse o conteúdo da palestra e do vídeo, a importância maior da reunião estava na relação de comprometimento estabelecida a partir deste marco para uma nova etapa que se iniciava.



A pesquisadora solicitou que o engenheiro coordenador da obra explicasse qual a contribuição do *FRS* para o que ele havia denominado sincronia das equipes no início da entrevista. O mesmo esclareceu que sincronia referia-se a seqüência de entrada das equipes para executar os serviços no apartamento, especialmente das equipes de instalações prediais.

Esta seqüência era enfatizada na palestra e estava reproduzida no vídeo ao qual ele havia se referido. No princípio, este vídeo era fornecido pelo fabricante de gesso acartonado e, atualmente, a empresa B o confecciona. Nele estão reproduzidas suas próprias práticas, muitas delas definidas com base nos primeiros *FRS*. Entre elas destacam-se: seqüência de entrada das equipes para executar os serviços no apartamento (marcação das paredes, fixação das guias, fixação dos montantes, instalações elétricas, instalações AF/AQ, instalações de esgoto, eventuais ajustes no fixação dos montantes, fixação das placas); formas de fixação das caixinhas elétricas, dos registros de pressão no *kit* do *shaft* do chuveiro; flexibilização da posição do ponto de utilização na montagem dos *kits*; execução do *pipe shop*. Estas soluções foram registradas por meio de fotos quando do acompanhamento da execução do *FRS* e são apresentadas no próximo tópico.

O engenheiro coordenador da obra destacou, ainda, duas importantes contribuições: a verificação de medidas na marcação de paredes e a quantificação exata de materiais. O mesmo explicou que o *FRS* era adotado, principalmente, para checar medidas na marcação de paredes, visando a assegurar as dimensões de projeto nas áreas molhadas.

O procedimento de garantir as dimensões nas áreas molhadas visava não apenas assegurar o espaço interno em menores ambientes, mas, principalmente, proteger as operações a jusante da marcação de paredes das incertezas. Desta forma, para execução de serviços, tais como, assentamento de cerâmicas e louças, o projeto era a referência. Por esta razão, apenas os serviços mencionados no item 5.3.2 eram executados no *FRS*.

O Quadro 5.8 apresenta os depoimentos do engenheiro coordenador de obra da empresa B e do proprietário da sub-empresiteira de instalações elétricas.

**Quadro 5.8 – Síntese do resultado das entrevistas (engenheiro coordenador da obra e proprietário da sub-empresiteira de instalações elétricas) – Contribuições do FRS**

Resultados Entrevista	Engenheiro Coordenador de Obras da empresa B	Proprietário da sub-empresiteira de Instalações Elétricas
Contribuições do FRS		
Projeto	Melhorou significativamente a qualidade do projeto.	
Conteúdo do trabalho	Várias soluções técnicas foram propiciadas pelo FRS (fixação de perfis e de caixinhas elétricas, locação de paredes).	Atualmente ainda ocorrem soluções para situações novas. Neste último FRS houve uma solução para fixação de caixinhas (Figura 5.50)
Restrições	As soluções técnicas propiciadas pelo FRS normalmente são decorrentes da necessidade de contornar uma situação.	
Desenho das operações	A sequência de montagem das instalações prediais praticada atualmente foi definida com base em experiências no FRS.	
Duração das operações (Capacidade de produção)	A duração das operações já é conhecida pelos sub-empresiteiros que possuem grande experiência na execução dos serviços.	FRS auxiliou na redução da duração para executar um pavimento de instalações. Anteriormente eram necessários 5 dias, atualmente 3,5 dias.
Quantificação de recursos	A quantificação de materiais é muito precisa com base no FRS.	A precisão é tal que a sobra de fio por apartamento é da ordem de 30cm.
Acesso ao local de trabalho (Fluxo de material e mão de obra)	A quantificação exata de materiais permite a definição de kits de materiais por apartamento e uma avaliação do volume e das alternativas de transporte.	Como não existem sobras de materiais, há facilidade para desmobilização da equipe, deixando o apartamento livre para equipe seguinte.
Referência para medidas	O FRS é adotado principalmente para checar medidas na marcação de paredes, visando a assegurar as dimensões de projeto nas áreas molhadas.	

O depoimento dos encarregados de cada sub-empresiteira foi obtido individualmente ao longo da execução de suas respectivas operações no FRS. Da mesma forma que na entrevista anterior, antes de cada depoimento foram coletadas informações gerais e, em seguida, foram citadas as contribuições. A seguir são apresentadas as informações gerais:

- Os operários que trabalhavam no FRS (gesso acartonado, instalações elétricas e hidroassanitárias) tinham a função de encarregado, porém, no momento da produção dos demais apartamentos, se envolviam na execução das tarefas;

- Estes encarregados tinham, no mínimo, quatro anos de experiência trabalhando no *FRS* na empresa B e, no mínimo, cinco anos de vínculo como empregado da sub-empregadora;
- Apenas dois encarregados (gesso acartonado e instalações elétricas) dos três que trabalhavam no *FRS* haviam executado apartamentos decorados em outras empresas, porém, o propósito era comercial. Em nenhum caso, o apartamento decorado era utilizado para estudar o projeto das operações de produção.

As contribuições mencionadas espontaneamente pelos encarregados foram:

- A quantificação exata de materiais foi citada pelos três encarregados como importante contribuição do *FRS*;
- Organização na execução dos serviços dentro dos apartamentos, favorecida pela quantificação precisa de materiais;
- Não ocorrência de interrupções na produção dos demais apartamentos devido à falta de material, esclarecimento de dúvidas relacionadas à interface com outras equipes, discussão de problemas de dimensões e retrabalho;
- Todos os entrevistados ressaltaram a contribuição do *FRS* nas questões de ajustes de dimensões no canteiro, objetivando, em última análise, a aprovação do produto construído em relação ao projeto. Esta aprovação ocorria na etapa de marcação de paredes, quando eram garantidas as dimensões de projeto nas áreas molhadas e as eventuais diferenças absorvidas pelas áreas secas.

O encarregado de gesso acartonado explicou que a diretriz de garantir as dimensões de projeto nas áreas molhadas, transferindo as diferenças para as áreas secas, só era possível porque as variações dimensionais encontradas no canteiro em relação ao especificado no projeto eram da ordem de 1 a 2 cm. Segundo ele, esta situação era fruto de um rigoroso controle de qualidade na execução das etapas a montante das vedações em gesso, especialmente da etapa de estruturas. O encarregado complementou que em algumas empresas para as quais ele prestava serviços ocorriam erros da ordem de 5 a 10 cm, impedindo a replicação das soluções estabelecidas no *FRS*.

Quando solicitado a explicitar que danos ocorreriam ao *FRS* da empresa B caso o intervalo de variações fossem maiores do que os 2 cm, o encarregado destacou que:

- Poderia haver situações em que não seria possível atribuir a mesma solução para absorver a diferença de dimensão, isto é, haveria necessidade de que outro ambiente ou mais de um ambiente assumisse esta variação. Os reflexos seriam relacionados à necessidade de ajustes nos tamanhos e posicionamento de perfis e placas, porém, sem grandes repercussões no método de trabalho padronizado que era seguido;
- Eventualmente, em casos de variações dimensionais exageradas, seria difícil manter a diretriz geral de assegurar as dimensões nas áreas molhadas.

A contribuição do *FRS* para os componentes do padrão investigados no estudo anterior, tais como, desenho do processo e capacidade de produção, não foram reconhecidos pelos encarregados. Segundo eles, a seqüência de execução era função da tecnologia empregada (gesso acartonado e tubulação hidráulica de polipropileno) e a capacidade de produção era conhecida em função da experiência de cada um.

A montagem dos *kits* foi uma contribuição citada espontaneamente pelo encarregado de instalações hidro-sanitárias. No entanto, quando solicitado, o encarregado de instalações elétricas reconheceu a contribuição do *FRS* para este fim, destacando que todas as soluções para fixação das caixinhas de instalações elétricas nos montantes de gesso acartonado foram definidas com base nos *FRS* realizados.

O Quadro 5.9 apresenta os depoimentos dos três encarregados que executaram serviços no *FRS*.

**Quadro 5.9 – Síntese do resultado das entrevistas (encarregados envolvidos no *FRS*) – Contribuições do *FRS***

Resultados da Entrevista	Encarregado - Gesso Acartonado	Encarregado - Instalações Elétricas	Encarregado – Instalações Hidro-sanitárias
Contribuições <i>FRS</i>			
Desenho das operações	A seqüência de trabalho é definida pela tecnologia, porém o <i>FRS</i> auxiliou a definir a seqüência geral para marcação de paredes, uma vez que eventuais diferenças dimensionais são absorvidas pelas áreas secas.	Não auxilia porque a seqüência é sempre a mesma.	Os <i>kits</i> já vêm pré-montados e existe flexibilidade na ordem de instalação dos mesmos no <i>FRS</i> e depois nos apartamentos.
Duração das operações (Capacidade de produção)	A duração é baseada na experiência. Porém, quando a obra tem características diferentes, o <i>FRS</i> auxilia na previsão da duração.	O <i>FRS</i> auxilia quando a obra tem características diferentes.	O <i>FRS</i> auxilia quando a obra tem características diferentes.
Quantificação de recursos	Os materiais e acessórios (brocas, disco de corte) são precisamente quantificados a partir do <i>FRS</i> .	Os materiais são quantificados a partir do <i>FRS</i> . A contribuição quanto a equipes de mão de obra, equipamentos e ferramentas somente ocorre quando há uma situação incomum.	Os materiais são quantificados a partir do <i>FRS</i> . A contribuição quanto a equipes de mão de obra, equipamentos e ferramentas ocorre quando há uma situação incomum.
Pré-montagem de kits	A única pré-montagem no gesso acartonado é a travessa de portas em que o <i>FRS</i> não auxilia. As travessas são montadas para cada apartamento no momento da execução.	Os primeiros <i>FRS</i> auxiliaram na confecção de <i>kits</i> de caixas de tomadas e interruptores. Neste <i>FRS</i> ocorreu uma situação atípica e encontrou-se uma solução para pré-montagem que será replicada sempre (Figura 5.50).	Os <i>kits</i> de esgoto são pré-montados com base no <i>pipe shop</i> e os de AF/AQ a partir do projeto. Ambos são ajustados no <i>FRS</i> em função, principalmente, das posições dos montantes.
Referência para medidas	O <i>FRS</i> é a oportunidade para solucionar os problemas referentes a erros dimensionais do produto construído em relação ao projeto. Variações dimensionais da ordem de 1 ou 2 cm permitem a replicação de soluções encontradas no <i>FRS</i> para as demais unidades. Em caso de variações maiores, cada apartamento iniciado constitui-se em um <i>FRS</i> .	Auxilia em eventuais mudanças na posição de quadros de luz e caixas em função da presença de montantes do gesso acartonado.	O <i>FRS</i> auxilia muito em ajustes no encaminhamento da tubulação de AF/AQ e no caso do esgoto, em pequenas adequações no que foi definido no <i>pipe shop</i> .

### 5.3.3.2 Observações em campo

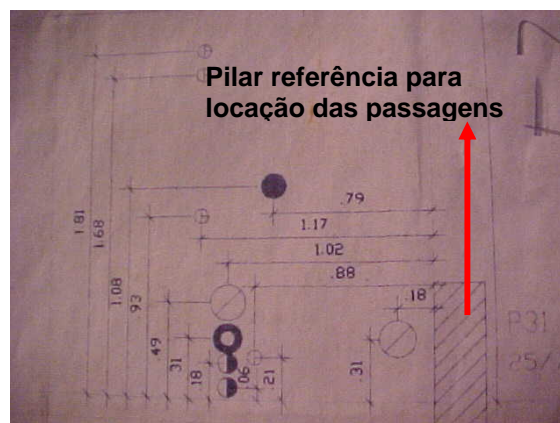
As observações em campo foram realizadas por intermédio de visitas ao apartamento do *FRS*, quando foi testemunhada a ênfase dada à questão dimensional e algumas soluções para a montagem dos *kits*.

A questão da precisão dimensional assegurada em etapas à montante do gesso acartonado foi testemunhada através do sistema de eixos fixos para locação de pilares<sup>45</sup> e do uso de um tapete de borracha utilizado para efetuar a marcação das passagens de tubulações na forma da laje (Figura 5.43).

Com base em um projeto de locação das passagens na laje (Figura 5.44), as coordenadas de cada ponto de passagem em relação a um referencial (pilar) eram reproduzidas no tapete de borracha.



**Figura 5.43-** Tapete para marcação das passagens de tubulação na laje



**Figura 5.44 -** Projeto para locação das passagens de tubulação na laje

Para a marcação das passagens na laje era necessário posicionar o tapete no esquadro junto ao pilar. Qualquer erro nesta operação resultaria em problemas futuros de posição dos furos em relação às guias que definiam a parede (Figura 5.45).

<sup>45</sup> O sistema de eixos fixos para locação de pilares é atualmente adotado por grande parte das empresas de construção. Consiste em efetuar a locação de todos os pilares por intermédio de medidas acumuladas a partir de eixos ortogonais posicionados na região central da laje. Este sistema contribui para maior precisão na posição de pilares e paredes e nas dimensões das lajes.



**Figura 5.45 – Falha na locação da passagem de AF na laje**

Abaixo são relatadas situações que documentam a ênfase no uso do espaço, na quantificação de materiais e na pré-montagem:

- A Figura 5.46 mostra a sobra de mangueira de instalação elétrica a ser enviada ao almoxarifado para baixa. Este procedimento era necessário porque a quantidade de materiais era precisamente levantada com base no *FRS*.
- A Figura 5.47 mostra que as placas de gesso acartonado eram locadas na laje. Eram adotadas nomenclatura e cores para diferenciar o tipo de placa e uma numeração para identificá-las. Nesta marcação, procurava-se privilegiar o aproveitamento máximo da placa, evitando perdas. Assim a nomenclatura 13B-RU em vermelho indicava que a placa era para área úmida (cartão verde) e que existia uma placa 13A-RU, de tal forma que houvesse o aproveitamento da placa. A nomenclatura 7-ST em amarelo indicava que uma placa *standart* (cartão branco) era utilizada naquele local sem qualquer corte. A partir desta marcação era elaborado um projeto com a posição de cada montante e das placas, permitindo reproduzir esta marcação nos demais apartamentos e quantificar todo o material a ser utilizado pela equipe.



**Figura 5.46 – Sobras de material elétrico**



**Figura 5.47 – Marcação das placas de gesso**

- A Figura 5.48 mostra a região do *shaft* da cozinha e área de serviço, onde o montante extremo foi mantido sem fixação para que, em função do pouco espaço, ficasse facilitada a introdução e fixação da placa de vedação na lateral do *shaft*.
- A Figura 5.49 mostra que os *kits* de AF/AQ eram pré-montados de forma que houvesse flexibilidade para ajustar a profundidade das esperas dos pontos de utilização em relação à face da parede acabada (placa + revestimento cerâmico). Para que isto fosse possível, era utilizado, antes da luva, um toco de tubulação maior do que a pior situação exigia. Desta forma, era possível efetuar o ajuste a cada situação cortando este toco de tubo no comprimento adequado.

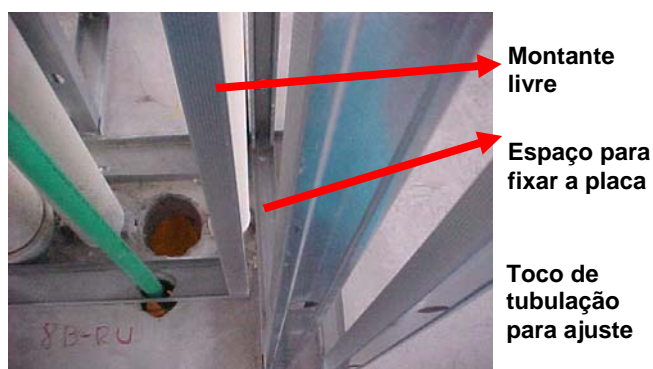


Figura 5.48 – Espaço no *shaft*



Figura 5.49 – Flexibilidade na posição dos pontos de utilização

- A Figura 5.50 ilustra uma situação atípica de duas tomadas adjacentes. A solução para fixação das caixinhas foi definida no *FRS* acompanhado neste estudo e será adotada ao montar os *kits* em casos recorrentes no futuro.
- A Figura 5.51 ilustra o *pipe shop* que consistia num espaço reservado do almoxarifado de instalações prediais em que, no teto, era efetuada a montagem dos ramais aéreos de esgoto de cada tipo de banheiro. Esta montagem era efetuada em uma etapa anterior à construção do apartamento do *FRS* e tinha a finalidade de definir a trajetória da tubulação, as conexões utilizadas, ou seja, nesta oportunidade discutia-se a melhor solução para os ramais de esgoto. A partir da montagem no *pipe shop* eram preparados os *kits* de esgoto do *FRS*. A solução estabelecida no *pipe shop* era reavaliada no *FRS* em função do uso do espaço por outras tubulações e da posição dos montantes.





**Figura 5.50 - Solução para *kit* de duas tomadas adjacentes**



**Figura 5.51 - Vista do *Pipe Shop***

Neste momento da coleta de dados, foi necessário retornar ao engenheiro coordenador da obra com a finalidade de esclarecer porque os ramais de AF/AQ que também eram alojados no forro, não eram montados no *pipe shop*, estabelecendo naquela ocasião, uma solução definitiva para o encaminhamento de todos os ramais aéreos.

O engenheiro argumentou que o encaminhamento dos ramais de AF/AQ dependia das subidas até os pontos de utilização e estas, por sua vez, eram função da posição dos montantes de gesso acartonado. Eventualmente havia necessidade de retorno à operação de instalação dos montantes e marcação das placas em decorrência de posições de pontos de utilização, porém a prioridade era ajustar comprimentos dos *kits*, mantendo o espaçamento dos montantes.

O engenheiro também foi argüido quanto à possibilidade de confecção de um projeto de produção que contemplasse o posicionamento dos montantes de gesso acartonado, o encaminhamento dos ramais de esgoto, AF/AQ e subidas aos pontos de utilização. Este questionamento foi levantado, uma vez que a garantia-se as dimensões das áreas molhadas.

O engenheiro ponderou que não havia um profissional com competência para executar um projeto com todas estas informações. O fornecedor de placas, nem tão pouco a sub-empreiteira instaladora do gesso acartonado forneciam este projeto. A arquiteta executa um projeto com posicionamento das guias, definindo cada ambiente. Porém, em algumas situações é necessário fazer alterações em função da falta de visão de produção. A Figura 5.52 mostra uma situação em que o projeto da arquiteta adotava um perfil diferente de guia na região do *shaft* e, o *FRS* recomendou que fosse mantido o mesmo perfil especificado na extensão da parede. Esta medida visava facilitar a fixação das guias, executada em uma única etapa com peça (perfil 72mm) e permitia espaço suficiente para abrigar a tubulação que neste caso, resumia-se a descida de água coletada pelo ralo da sacada.

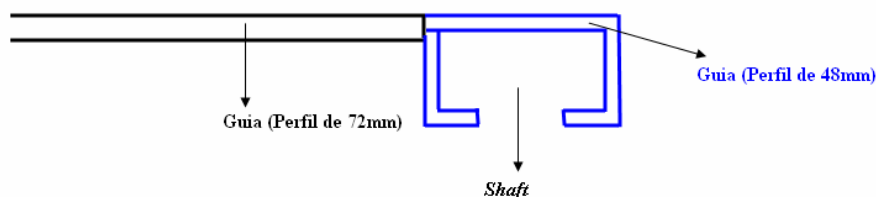


Figura 5.52 - Solução inadequada de projeto para guias do gesso acartonado

### 5.3.4 Consolidação dos Resultados

#### 5.3.4.1 Contribuições do *FRS*

##### 5.3.4.1.1 *Para a aprovação do produto construído em relação ao projeto*

O *FRS* na empresa B tinha como principal objetivo, assegurar as dimensões do projeto nas áreas molhadas (banheiros, cozinhas e áreas de serviço) do produto construído. Desta forma, a execução dos serviços revestimentos de pisos, paredes e forros e a instalação de louças e acessórios era protegida da incerteza proveniente de variações dimensionais.

Este benefício propiciava que projetos de paginação de revestimentos fossem adotados como referência para aquisição de materiais e para instruir operários na execução de recortes e, principalmente, evitava que houvesse interrupções e retrabalho na etapa de produção, ocasionando menor variabilidade nas durações das operações e, consequentemente, estabilidade na capacidade de produção.

##### 5.3.4.1.2 *Para os componentes do padrão*

Em decorrência de haver um padrão bem definido previamente, neste estudo não foi observada a contribuição do *FRS* para a definição dos componentes do padrão.

No entanto, foi constatada a contribuição do *FRS* para definir soluções para a proteção do padrão existente, na medida em que estas asseguravam as dimensões de projeto, o que, por sua vez evitava variações no conteúdo do trabalho, na sequência de execução e, conforme mencionado anteriormente, favorecia a estabilidade na capacidade de produção com repercussão em outros elementos do método, tais como, trabalho em progresso e lote de produção. Desta forma, o método definido por intermédio do *FRS*, neste caso, consistia nas soluções ou diretrizes para atingir a meta de manter as dimensões nas áreas molhadas.

#### **5.3.4.1.3 Para quantificação precisa de materiais**

O fato dos serviços a montante da marcação de paredes estarem sujeitos a pequenas variações dimensionais permitia que as soluções definidas no *FRS* fossem replicadas nos demais apartamentos, viabilizando estudos de reaproveitamento de materiais (por exemplo, placas de gesso acartonado).

A redução da perda de materiais a valores mínimos era perseguida pela empresa B que tinha o custo e a qualidade como principais dimensões de desempenho. O fato do *FRS* começar com sessenta dias de antecedência em relação ao início da produção garantia tempo hábil para aquisição dos materiais após a quantificação precisa.

#### **5.3.4.1.4 Para o fortalecimento das relações de parcerias**

A empresa B buscava manter uma relação de parceria com as sub-empreiteiras e o *FRS* tinha um importante papel neste aspecto. A contribuição do *FRS* para fortalecer a relação de parceria estava na sua utilização para a redução da incerteza na etapa de produção. A relação entre a empresa B e as sub-empreiteiras era mantida da seguinte forma: as sub-empreiteiras eram beneficiadas com as vantagens que o *FRS* proporcionava em termos de garantia da continuidade no fluxo de trabalho das mesmas e de outro lado, a empresa B tinha maior facilidade em mantê-las em suas obras e, assim, cumprir prazos e reduzir custos.

De acordo com os preceitos destacados por De Meyer, Loch e Pich (2002), a confiança construída com base na antecipação de riscos e incertezas deveria propiciar uma disposição das sub-empreiteiras para resolver eventuais problemas imprevistos na produção. No entanto, ao efetuar um controle rigoroso de qualidade nas etapas anteriores à marcação de paredes, a empresa procurava operar no campo das incertezas classificadas por De Meyer, Loch e Pich (2002) como variações. Segundo os autores, neste caso os resultados variam, porém, dentro de um intervalo previsto, o que permite o emprego de planos de contingência. Constatou-se que o controle de qualidade assegurava pequenas variações dimensionais e que os planos de contingência constituíam-se em diretrizes já conhecidas pelos sub-empreiteiros para solucionar os problemas resultantes de pequenas variações dimensionais e que eram passíveis de serem replicadas na produção.

A troca de benefícios se estendia à execução do *FRS* na medida em que todos os materiais necessários para sua construção eram quantificados e adquiridos pelas sub-empreiteiras e de outro lado, a empresa participava ativamente com o intuito de solucionar

todos os problemas que pudessem gerar dúvidas, interrupções e retrabalho na etapa de produção.

A relação de longo prazo entre a empresa B e as sub-empresas assegurava que todos conhecessem os procedimentos para solucionar os problemas associados a pequenas variações de dimensões. No caso de ocorrência de problemas não previstos, a exemplo da Figura 5.48 (solução para fixação da placa de gesso acartonado em pequeno espaço no *shaft*), era solicitada a presença do engenheiro coordenador da obra, do diretor técnico da empresa B, dos projetistas (quando necessário) e mestre para que houvesse uma solução conjunta.

#### 5.3.4.2 Requisitos para implementar a prototipagem de forma a atingir a padronização

Um controle de qualidade que resultava em pequenas variações dimensionais nas atividades a montante do gesso acartonado permitia (a) definir soluções que asseguravam as dimensões de projeto nas áreas molhadas; e (b) replicar na produção aquelas soluções estabelecidas no *FRS*. Desta forma, não apenas as equipes que executavam serviços nas áreas molhadas, mas também a equipe que executava o gesso acartonado era favorecida pela redução da incerteza o que possibilitava o cumprimento de um método padronizado.

Embora o encarregado tenha mencionado que variações dimensionais maiores do que 2 cm repercutiriam de forma pouco significativa no método padronizado do gesso acartonado, as interrupções necessárias para discutir novas soluções e o retrabalho decorrente destas variações exporiam a produção a incertezas relacionadas à variável tempo. A capacidade de produção e outros elementos do método relacionados, tais como, equipe, trabalho em progresso e até mesmo a meta poderiam ser afetados, eventualmente, acarretando modificações no conteúdo do trabalho e no desenho do processo.

No primeiro estudo, a indisponibilidade do *input* materiais/componentes, representado por vigas com espaçamento e comprimento da ferragem de solda adequados, ocasionou mudança na seqüência previamente definida, variabilidade na duração das operações, comprometendo a capacidade de produção real e a meta que estabelecia o tempo de ciclo de dois dias.

Portanto, a precisão dimensional da tarefa antecessora, assim como os materiais/componentes, apresentou-se como um *input* do método padronizado. A precisão dimensional da tarefa antecessora corresponde ao *input* tarefa pré-requisito mencionado por Koskela (1999, 2000). Este *input* deve abranger a execução da tarefa pré-requisito dentro dos

limites de tolerância dimensional para que o método padrão da tarefa em questão seja respeitado.

Assim, o controle de qualidade foi considerado um requisito para que o *input* precisão dimensional da tarefa antecessora fosse disponibilizado para cumprir o método padronizado.

A aprovação das dimensões do produto construído em relação às especificações de projeto para as áreas molhadas possibilitava que os serviços de acabamento não fossem incluídos no *FRS*. Ou seja, o *FRS* era focado apenas naquilo que pudesse resultar em incerteza, o que propiciava uma simplificação considerável na sua construção, proporcionando os benefícios citados no estudo anterior: redução o tempo de resposta do fenômeno investigado, intensificação do processo de aprendizagem e redução da sobrecarga causada aos envolvidos na execução do protótipo.

A relação de parceria entre a empresa B e as sub-empreiteiras também tinha importante contribuição para a redução da sobrecarga de trabalho que o *FRS* causava ao gerente na medida em que os *inputs* materiais e equipamentos necessários para sua execução eram disponibilizados pelas sub-empreiteiras.

Este benefício e o fato da empresa B executar o *FRS* com sessenta dias de antecedência ao início da produção e ter apenas a estrutura como atividade pré-requisito contribuíam para que não fosse necessário inserir as atividades do *FRS* no planejamento de médio prazo.

No caso da empresa A, em que o apartamento de internação (quarto e banheiro) deveria ser completamente construído, a relação de parceria com as sub-empreiteiras poderia facilitar, além do suprimento de recursos, o deslocamento das equipes para executar atividades apenas no *FRS*.

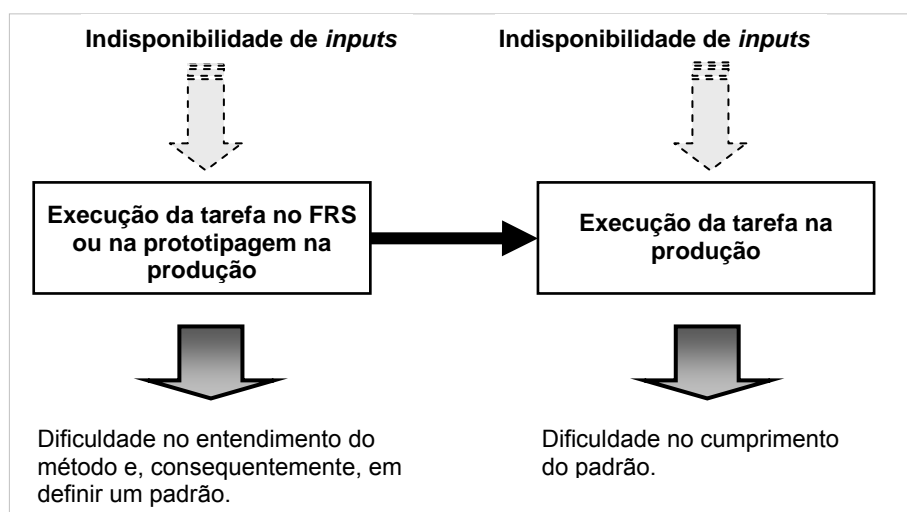
A produção em célula constitui-se em outra prática que permite operar em pequenos lotes de produtos acabados. No entanto, Moser e Santos (1993) apontam uma série de requisitos para o trabalho realizado em células. Estes requisitos são, normalmente, incomuns na construção civil, entre eles destacam-se: adoção de lotes pequenos de produção e de transferência, polivalência dos operários, transparência nos fluxos de informações, pessoas com experiência em trabalho em equipe, envolvimento de todos no controle e na melhoria da qualidade.

### 5.3.5 Considerações Finais

Neste estudo o avanço nas investigações ocorreu, principalmente, por três razões:

- Constatação de que após a aprovação do produto projetado é necessária a aprovação do produto construído em relação ao projeto para que os benefícios da prototipagem possam ser repassados a produção;
- Identificação de um *input* para execução da tarefa citado por Koskela (1999, 2000), porém ainda não observado nos estudos anteriores. Trata-se do *input* precisão dimensional da tarefa pré-requisito;
- Identificação de novos requisitos para implementar o *FRS* de forma a atingir a padronização.

A identificação de novos *inputs* para execução da tarefa se justifica como um avanço nas contribuições da pesquisa porque, conforme observado nos estudos anteriores, a indisponibilidade de *inputs* afeta entendimento do método e, conseqüentemente, o processo de definição do padrão por intermédio da prototipagem realizada na etapa de produção e, posteriormente, a implementação deste padrão (FIGURA 5.53).



**Figura 5.53 – Reflexos da indisponibilidade dos *inputs* para a execução da tarefa**

Destaca-se que a contribuição referente aos *inputs* para execução da tarefa não se deu, propriamente, na identificação de novas classes de *inputs* em relação àquelas já apresentadas por Koskela (1999, 2000), mas sim em como disponibilizá-las dentro do contexto da prototipagem. Tendo em vista os prejuízos causados pela indisponibilidade dos

*inputs* (FIGURA 5.53), as condições para disponibilizá-los constituem-se em requisitos para implementar a prototipagem de forma a atingir a padronização.

Assim, neste estudo, o avanço na investigação dos requisitos para implementar o *FRS* ao nível de atingir a padronização ocorreu por conta da definição das condições para disponibilizar este novo *input* e de alternativas para superar as dificuldades detectadas nos estudos anteriores. Os seguintes requisitos foram identificados neste estudo:

- Existência de um controle de qualidade na execução dos serviços como forma de garantir pequenas variações dimensionais;
- Simplificação do *FRS*, focando apenas nas incertezas. Os dois últimos estudos indicaram que esta conduta reduz a sobrecarga que o *FRS* causa às atribuições do gerente e acelera o processo de aprendizagem. Assim, há situações em que é vantajoso executar mais de um *FRS*, paralelamente ou de forma concatenada. Esta última opção é recomendada quando os resultados de um são utilizados no seguinte como, por exemplo, no caso do estudo anterior em que havia dois propósitos, um relacionado ao produto e outro ao processo. Ulrich e Eppinger (2000) sugerem este procedimento.
- Estabelecimento de relações de parcerias abrangendo a disponibilização dos *inputs* para execução do *FRS*, visando a reduzir a sobrecarga causada ao gerente.

#### 5.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS ESTUDOS

No Quadro 5.10 estão reunidos os resultados de cada estudo com base nas questões de pesquisa.

Embora o foco da investigação no segundo estudo tenha sido o *FRS*, são apresentadas, também, as contribuições obtidas através das primeiras unidades de produção porque, conforme mencionado anteriormente, a evolução no entendimento do método nesta etapa resultou da continuidade das experimentações com o objetivo de solucionar os problemas detectados ao final do *FRS*, ficando caracterizado um processo de prototipagem, também, nas primeiras unidades de produção.

OBJETIVOS DA PESQUISA	1º ESTUDO	2º ESTUDO		3º ESTUDO
	Prototipagem na Produção	FRS	Prototipagem na Produção	FRS
Contribuições	Redução da incerteza de caráter epistemológico: a evolução no entendimento do método			Redução da incerteza de caráter randômico
	<b>Componentes do padrão:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evolução no entendimento do método de trabalho</li> <li>- Identificação de restrições relacionadas à segurança e qualidade técnica</li> <li>- Definição de metas</li> </ul>	<b>Componentes do padrão:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entendimento de elementos básicos do método (conteúdo do trabalho e sequência de execução)</li> <li>- Desenho simplificado do processo</li> </ul> <b>Outras Contribuições</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição de detalhes do produto</li> <li>- Quantificação de recursos</li> <li>- Aprendizagem em parceria para reduzir incerteza associada à inovação tecnológica</li> </ul>	<b>Componentes do padrão:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencial para atuar em elementos do método voltados à obtenção do fluxo contínuo (trabalho em progresso e lote de produção)</li> </ul>	<b>Outras Contribuições</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aprovação do produto construído em relação ao projeto</li> <li>- Quantificação precisa de materiais, visando à redução de custos</li> <li>- Fortalecimento de parcerias pautadas na redução da incerteza na etapa de produção</li> </ul> <b>Componentes do padrão:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Soluções para proteção do padrão.</li> </ul>
Requisitos para implementação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Atuação do gerente como facilitador da aprendizagem da equipe</li> <li>- Antecipar conhecimento do processo através de outros tipos de prototipagem</li> <li>- Atrelar o propósito da prototipagem à estratégia de produção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inserção das atividades do <i>FRS</i> no plano de médio prazo (disponibilidade dos <i>inputs</i>)</li> <li>- <i>FRS</i> mais focados, visando a reduzir o tempo de resposta e acelerar o processo de aprendizagem</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controle de qualidade na execução do serviço</li> <li>- Simplificação do <i>FRS</i>, foco na incerteza</li> <li>- Relações de parceria abrangendo a disponibilidade dos <i>inputs</i></li> </ul>
Nível de detalhamento do método padronizado			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Decorrente da evolução no entendimento do método nas condições locais e da busca em atingir as metas.</li> </ul>	

Quadro 5.10 – Síntese dos resultados dos três estudos



## 6 CONCLUSÕES

---

Neste capítulo é apresentada uma síntese dos resultados da pesquisa em três etapas. Inicialmente busca-se destacar a adaptação dos resultados dos estudos aos conceitos e práticas da prototipagem, evidenciando a sua aplicação à construção. Numa segunda etapa são sintetizadas as principais conclusões frente às questões de pesquisa e, em seguida, as contribuições teóricas do trabalho para tema abordado na tese. Ao final, são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

### 6.1 ADAPTAÇÃO DOS RESULTADOS AOS CONCEITOS E PRÁTICAS DA PROTOTIPAGEM

Nos primeiros estudos realizados, a produção da edificação foi utilizada como uma oportunidade para realizar experimentações caracterizadas por ciclos de definição de um plano, execução (ação) e reflexão acerca do plano executado. Tais experimentações conduziram a um entendimento crescente do método de trabalho, possibilitando especificar ou avaliar uma meta e definir os meios para cumpri-la. Ou seja, por intermédio das experimentações realizadas na etapa de produção, reduziu-se a incerteza associada ao conhecimento, referenciada no segundo capítulo como incerteza epistemológica.

A literatura de desenvolvimento de produto descreve, também, que a prototipagem realizada na produção pode ocorrer em duas etapas: inicialmente, na forma de produção piloto em que a experimentação acontece no ambiente verdadeiro, porém, em condições controladas e, em seguida, na produção propriamente dita. Nesta última oportunidade, busca-se melhorar a capacidade da produção por intermédio da prática de rastrear problemas não detectados nas etapas experimentais precedentes e de experimentar e testar alternativas que melhorem o seu desempenho.

No segundo estudo, foi realizado o *FRS*, classificado no terceiro capítulo como um tipo de experimentação semelhante à produção piloto. Em seguida, deu-se, de forma espontânea, continuidade às experimentações em busca de soluções para problemas detectados no *FRS*, porém, não solucionados. Assim, pode-se dizer que o processo de experimentação ocorreu de forma natural e em decorrência da intenção no entendimento sistemático de um método que propiciasse o cumprimento de uma meta.

Finalmente, constatou-se que as dificuldades enfrentadas para realizar as referidas experimentações estavam associadas às diretrizes citadas na literatura para implementação da prototipagem apresentadas a seguir, no tópico 6.3.

## **6.2 CONTRIBUIÇÃO DA PROTOTIPAGEM PARA A GESTÃO DA PRODUÇÃO**

A realização da pesquisa em dois contextos diferentes em termos de domínio do processo de produção, de variações nas características do produto e de desafios em relação às metas a serem cumpridas permitiu ampliar o entendimento das contribuições da prototipagem.

No contexto em que é necessário um maior domínio do processo de produção para que os propósitos relativos a prazo e segurança sejam atingidos, a prototipagem reduz a incerteza de caráter epistemológico por intermédio da evolução no entendimento dos componentes do padrão (meta, restrições e método). Esta evolução ocorre da seguinte forma: no início ocorre o entendimento dos elementos do método de trabalho de forma evolutiva e, a partir deste, é possível (a) identificar as restrições; (b) especificar ou avaliar metas pré-estabelecidas; e (c) combinar os elementos do método, balizados pelas restrições, de forma que haja uma convergência do desempenho para a meta estabelecida.

A evolução no entendimento dos componentes do padrão mostrou-se dependente da ocorrência do ciclo definição do plano, ação e reflexão ao longo do *FRS* e do início da produção. Os resultados indicaram que a aprendizagem do método de trabalho é mais intensa do que na etapa de planejamento, antes do início da produção, não apenas porque há um melhor entendimento do contexto no qual a tarefa é executada, mas também porque este se desenvolve com base em um referencial comum, isto é, nos fatos observados na produção.

Concluiu-se que um aspecto importante no potencial da prototipagem para reduzir a incerteza epistemológica, refere-se ao fato da mesma fazer uso de um objeto comum para o entendimento do fenômeno estudado, sendo este objeto, o protótipo. Constatou-se, também, que o uso deste objeto comum favorece a explicitação do conhecimento tácito que se constitui em importante fator para acelerar o processo de entendimento do fenômeno estudado.

No contexto no qual havia mais domínio do processo de produção e poucas variações nas características do produto, a prototipagem contribuía para a redução da incerteza de caráter predominantemente randômico, uma vez que tinha como principal objetivo, propor soluções que oferecessem condições para o cumprimento de um método padronizado existente.

Assim, considera-se que houve um avanço no entendimento da questão de pesquisa voltada a explicar como a prototipagem pode contribuir para reduzir o risco e a incerteza em ambientes com diferentes graus de incerteza. Também houve evolução no sentido de entender que os ciclos de aprendizagem propiciados pela prototipagem permitem um conhecimento evolutivo dos componentes do padrão. No entanto, há necessidade de aprofundamento nas investigações com o objetivo de explicar, sob o enfoque da aprendizagem, como se dá este processo.

O fato do método de trabalho de atividades corriqueiras ter sido aprimorado no início da produção com base no entendimento do contexto no qual a tarefa era executada indicou que o método de trabalho padronizado deve sofrer adequação por intermédio da prototipagem realizada na etapa de produção.

Portanto, no que diz respeito ao processo de padronização, em contextos sujeitos a variações nas características do produto e a uma meta desafiadora a ser cumprida, o papel da prototipagem realizada na etapa de produção consiste em adequar o método de trabalho padronizado para atender a situações específicas.

No entanto, há necessidade de investigar qual deve ser o escopo do método de trabalho padronizado no ambiente da construção civil e analisar a contribuição da prototipagem explorando seus benefícios relacionados à cooperação, comunicação e aprendizagem .

A prototipagem mostrou-se, também, um instrumento para atuação estratégica, na medida em que nos estudos a mesma foi empregada para: (a) cumprir metas associadas a prazo, custo e segurança; e (b) fortalecer as relações de parcerias. Neste último caso, constatou-se que a prototipagem constituía-se numa oportunidade para fortalecer as relações de confiança mútua, principalmente, por intermédio da redução da incerteza.

### 6.3 REQUISITOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA PROTOTIPAGEM DE FORMA A ATINGIR A PADRONIZAÇÃO

A disponibilidade dos *inputs* para a execução da tarefa citados por Koskela (1999, 2000) mostrou-se um importante requisito para a implementação da prototipagem nos dois contextos estudados. A disponibilidade dos *inputs* é citada pelo referido autor como requisito para a execução da tarefa em condições favoráveis. No primeiro contexto, em que a prototipagem foi empregada com o objetivo de definir um método de trabalho para cumprir uma meta estabelecida, a execução da tarefa em condições favoráveis constituía-se no objeto comum para o entendimento do fenômeno estudado, no caso, o método de trabalho. No segundo contexto, situação em que havia domínio do processo de produção, a disponibilidade dos *inputs* assegurava que as soluções definidas por intermédio da prototipagem para a proteção do padrão pudessem ser replicadas na produção.

Os principais *inputs* cuja indisponibilidade repercutiu na prototipagem foram: informações adequadas de projeto, os recursos materiais, mão de obra e equipamentos e a precisão dimensional da tarefa pré-requisito.

O controle de qualidade eficaz com objetivo de garantir pequenas variações nas dimensões do produto construído em relação ao projeto foi considerado um requisito para garantir a replicação das soluções definidas na prototipagem para a proteção do padrão na produção. Observou-se que o controle de qualidade permite que a empresa opere no campo das incertezas classificadas por De Meyer, Loch e Pich (2002) como variações, situações nas quais é possível empregar planos de contingência para atuação. Os planos de contingência constituem-se em diretrizes para lidar com as incertezas remanescentes que impedem o emprego de um método padronizado.

A indisponibilidade dos *inputs* informações de projeto e recursos ocasionou atraso e dilatação do prazo do *FRS* e, conseqüentemente, sobreposição com a produção e lentidão no tempo de resposta das questões investigadas.

Para assegurar a disponibilidade dos recursos, garantindo um intervalo de tempo para experimentações no *FRS*, livre das pressões da produção, foi definido como requisito, a inserção das atividades do *FRS* no planejamento de médio prazo. No entanto, relações de parcerias com sub-empreiteiras e fornecedores abrangendo o suprimento de recursos para a realização do *FRS* mostraram-se mais eficientes porque

reduzem a dificuldade causada ao gerente para disponibilizar uma variedade de recursos para serem empregados apenas na unidade do *FRS*. Esta dificuldade acentua-se em *FRSs* com propósitos abrangentes, incluindo grande número de atividades, e realizados em empreendimentos com prazos exíguos.

Constatou-se, também, que em *FRSs* com propósitos diferentes, há uma combinação de incertezas a serem reduzidas, causando grande interdependência nas decisões ao longo do processo de experimentação e demora nas respostas das questões investigadas, prejudicando o processo de aprendizagem.

Assim, a realização de *FRSs* com propósitos focados foi outro requisito detectado e com repercussão, não apenas na maior facilidade para disponibilizar os recursos necessários, mas principalmente, na redução do grau de incerteza, acelerando as respostas das questões investigadas e o processo de aprendizagem. Foi cogitado, também, o emprego da prototipagem virtual através de desenhos 3D para avaliar o uso de espaço e da simulação através de modelos 4D ou, ainda, da prototipagem rápida (PR) para as situações de montagem de pré-moldados. Em situações de alto grau de incerteza, o emprego de mais de um protótipo focado e até mesmo mais de uma tecnologia é, de fato, sugerido por diversos autores (ROSENTHAL; TATIKONDA, 1992; BROWN; EISENHARDT, 1995; REINERTSEN, 1997; PATTERSON, 1999; ULRICH; EPPINGER, 2000; HOLMBERG, 2000; FAITHFULL; BALL; JONES, 2001).

#### **6.4 CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA DA PESQUISA**

Considera-se que a comprovação da aderência dos conceitos e princípios da prototipagem aos procedimentos praticados na produção com o objetivo de definir um método para atingir uma meta estabelecida constitui-se numa contribuição teórica na medida em que:

- Os conceitos e princípios relacionados à prototipagem são provenientes da literatura de desenvolvimento do produto na manufatura. Até quanto se pesquisou, inexistiam trabalhos científicos que apresentem relato do emprego destes conceitos e princípios para estudar o processo de produção na construção civil, fazendo uso da própria produção do produto final. Na construção civil, em que nem sempre é viável a construção de protótipos através da pré-produção do produto, especialmente nas situações em que o

produto é único, a possibilidade de empregar a própria produção oferece oportunidade de continuidade nas investigações;

- Com relação à afirmação de Ballard e Howell (1997a) de que o *FRS* contribui para a redução da incerteza por intermédio de um maior domínio do método ao ponto de definir um padrão, houve um avanço no sentido de explicar: (a) de que forma ocorre a definição dos componentes do padrão por intermédio da prototipagem; (b) como se dá a redução da incerteza epistemológica e randômica por intermédio da prototipagem; e (c) quais as condições para que a prototipagem possa trazer estas contribuições.

A definição dos componentes do padrão adotada nesta tese apresenta-se como uma proposta inicial que resultou de informações relativas ao processo de produção que emergiram no primeiro estudo e de um retorno à literatura de padronização e de gestão da produção. Considera-se que esta proposta inicial constitui-se em uma contribuição do presente trabalho, uma vez que inexistia na literatura uma relação de elementos que definissem o padrão na construção civil.

## **6.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Ao longo da pesquisa foram detectadas lacunas e oportunidades de investigações a serem exploradas em trabalhos futuros. São elas:

### **PADRONIZAÇÃO**

- Esclarecer o papel da prototipagem para definir o método padronizado em contextos de alta incerteza. Embora tenha sido comprovada a contribuição da prototipagem para discutir os componentes do padrão e adequá-los a uma situação específica, não foi comprovado o seu potencial para implementar o método padronizado. Constatou-se a necessidade de investigações no tema de padronização com o objetivo de investigar o escopo do método padronizado nestes contextos;

### **OUTROS TIPOS DE PROTOTIPAGEM**

- Investigar as contribuições de outros tipos de prototipagem, tais como a prototipagem virtual e a prototipagem rápida para definir detalhes do produto na etapa de projeto, evitando grande quantidade de decisões relativas ao

mesmo na etapa de produção, ainda que sejam adotados *FRSs* focados ou no produto ou no processo;

- Investigar as contribuições dos referidos tipos de prototipagem para explicitar o conhecimento tácito das pessoas envolvidas no processo de experimentação.

#### **EMPREGO DE FERRAMENTAS DE GESTÃO DA QUALIDADE**

- Explorar as contribuições e condições necessárias para o emprego de ferramentas de gestão da qualidade, tais como, Cinco Porquês e *Brainstorming* dentro do contexto da prototipagem realizada na etapa de produção.

#### **ASPECTOS COMPORTAMENTAIS**

- Investigar as repercussões e condições para lidar com os aspectos comportamentais de forma a permitir que os benefícios da prototipagem para identificar problemas se revertam em maior intensidade na aprendizagem.
- Investigar a respeito do perfil das pessoas envolvidas na prototipagem para que o processo de experimentação se dê com maior eficácia.

#### **COMUNICAÇÃO E APRENDIZAGEM**

- Explorar mais profundamente como ocorre o processo de aprendizagem e de comunicação por intermédio da prototipagem, especialmente no que diz respeito à explicitação do conhecimento tácito;
- Explorar os benefícios da prototipagem relacionados à cooperação e comunicação entre as organizações e à aprendizagem para a atuação em ambientes incertos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELHAMID, T. The self-destruction and renewal of lean construction theory: a prediction from Boyd's theory. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore, 2004. 19 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 22/09/05

ADLER, P. S.; GOLDOFTAS, B.; LEVINE D. I. Flexibility versus efficiency? A case study of model changeovers in the Toyota. **Organization Science**, Providence, RI, v. 10, n. 1, p. 43-68, 1999.

ALVAREZ, R.R; ANTUNES JUNIOR, J.A.V. *Takt-time*: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**, v.8, n.1, p. 1-18, 2001.

ALVES, T. C. L. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras**: proposta baseada em estudos de caso. 2000. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ALVES, T. C. L.; TOMMELEIN, I. D. Buffering and batching practices in the HVAC industry. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 11., 2003, Virgínia. **Proceedings...** Virgínia, 2003. 13 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 26/07/06

ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção**: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero. 1998. 407 p. Tese (Doutorado em Administração) - Escola de Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ARGYRIS, C.; SCHÖN, D. A. Participatory action research and action science compared: a commentary. **American Behavioral Scientist**, Princeton, NJ, v. 32, n. 5, p. 612-623, 1989.

BACCARINI, D. The concept of project complexity: a review. **International Journal of Project Management**, Guildford, Engl., v. 14, n. 4, p. 201-204, 1996.

BALLARD, G. et al. Production system design in construction. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., 2001, Singapore. **Proceedings ...** Singapore, 2001. 11 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 01/02/03



BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. **Aiming for continuous flow**: white paper 03. Lean Construction Institute, 1999. Disponível em: <<http://www.leanconstruction.org>>. Acesso em: 10 jun. 2003.

BALLARD, G. Implementing lean production. BAA Heathrow Terminal 5 –Civils Phase. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13, 2005, Sydney. **Proceedings...** Sydney, 2005. 33 p. Disponível em:<[http://www.iglc.net/conferences/2005/presentations/industryday/iglc13\\_Glenn\\_Ballard.pdf](http://www.iglc.net/conferences/2005/presentations/industryday/iglc13_Glenn_Ballard.pdf)>. Acesso em: 20/06/06

\_\_\_\_\_. **The last planner system of production control**. 2000. 146 p. Thesis (Doctor of Philosophy) - The University of Birmingham, Birmingham, 2000.

\_\_\_\_\_. Improving work flow reliability. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley. **Proceedings...** Berkeley, 1999. 12 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 05/07/03

BALLARD, H. G.; HARPER, N.; ZABELLE, T. An application of lean concepts and techniques to precast concrete fabrication. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. **Proceedings...** Gramado, 2002. 12 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 06/03/04

BALLARD, H. G.; HOWELL, G. An update on last planner. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 11., 2003, Virgínia. **Proceedings...** Virgínia, 2003a. 13 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 08/02/04

\_\_\_\_\_. Implementing lean construction: improving downstream performance. In: ALARCÓN, L. (Ed.). **Lean construction**. Rotterdam: Balkema, 1997a. p. 111-126.

\_\_\_\_\_. Lean project management. **Building Research and Information, London**, v. 31, n. 2, p. 119-133, 2003b.

\_\_\_\_\_. Toward construction JIT. In: ALARCÓN, L. (Ed.). **Lean construction**. Rotterdam: Balkema, 1997b. p. 291-300.

BALLARD, H. G.; MATTHEWS, O. Prefabrication & assembly: white paper. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore, 2004. 19 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 09/02/04

BECKERMAN, L. P. Application of complex systems science to systems engineering. **System Engineering**, v. 3, n. 2, p. 96-102, 2000.

BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. 2001. 291 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BERTELSEN, S. Bridging the gaps: towards a comprehensive understanding of lean construction. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado, RS. **Proceedings...** Gramado, RS, 2002. 13 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 25/06/04

\_\_\_\_\_. Complexity: construction in a new perspective. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 11., 2003, Virgínia. **Proceedings...** Virgínia, 2003a. 12 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 30/08/05

\_\_\_\_\_. Construction as a complex system. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 11., 2003, Virgínia. **Proceedings...** Virgínia, 2003b. 13 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 25/08/05

BERTELSEN, S. et al. Critical flow: towards a construction flow theory. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 14., 2006, Santiago, Chile. **Proceedings...** Chile. 2006. 10p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 20/08/05

BERTELSEN, S.; KOSKELA, L. Avoiding and managing chaos in projects. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 11., 2003, Virgínia. **Proceedings...** Virgínia, 2003. 14 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 26/08/05

\_\_\_\_\_. Construction beyond lean: a new understanding of construction management. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore, 2004. 12 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 18/08/05

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005, Sydney, Australia. **Proceedings...** Sydney, 2005. 7 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 15/08/05

BEYNON-DAVIES, B.; TUDHOPE, D., MACKAY, H. Information systems prototyping in practice. **Journal of Information Technology**, London, v. 14, p. 107-120, 1999.

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

BOGARD, T. What your prototypes are not telling you. **Appliance Manufacturer Magazine**, p. 46-47, Oct. 2001.

BOUCHLAGHEM, D. Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). **Automation in Construction**, 14, 2005, p. 287-295.

BROWN, S. L.; EISENHARDT, K. M. Product development: past research, present findings and future directions. **Academy of Management Review**, Mississippi, MS, v. 20, n. 2, p.343-378, 1995.

BUENO, F. S. **Minidicionário da língua portuguesa**. São Paulo: FTD; LISA, 1996.

BULHÕES, I. R. et al. Fluxo contínuo na construção civil: um estudo de caso exploratório. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E I ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 4., 2005, Porto Alegre. **Proceedings...** Porto Alegre, 2005. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br>>. Acesso em: 15/06/06

CALVANO, C. N.; JOHN, P. Systems engineering in an age of complexity. **IEEE Engineering Management Review**, New York, v. 32, n. 4, p. 29-38, 2004.

CAMBRAIA, F. B. **Gestão integrada entre segurança e produção: refinamentos em um modelo de planejamento e controle**. 2000. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CAMPOS, V. F. **Qualidade total**: padronização nas empresas. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CHAU, K.W., ANSON, M., DE SARAM, D.D. 4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 14, n. 4, p. 512-524, 2005.

\_\_\_\_\_. 4D dynamic construction management and visualization software: 2. Site trial. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 14, n. 4, p. 525-536, 2005.

CHEW, W. B.; LEONARD-BARTON, D.; BOHN, R.E. Beating Murphy's law. **Sloan Management Review**, Cambridge, Mass., v. 32, n. 3, p. 5-16, Spring 1991.

CLARK, K. B.; CHEW, W. B.; FUJIMOTO, T. Manufacturing for design: beyond the production/R&D dichotomy. In: SUSMAN, Gerald I. (Ed.). **Integrating Design and Manufacturing for Competitive Advantage**. Oxford: Oxford University Press, 1992.

COX, J. F.; SPENCER, M. S. **Manual de teoria das restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

CURRIE, R. M. **Work study**. 4<sup>th</sup>. Great Britain: A Pitman International Text, 1977.

DE MEYER, Arnoud; LOCH, Christoph H.; PICH, Michael T. Managing project uncertainty: from variation to chaos. **Sloan Management Review**, Cambridge, Mass., v. 43, n. 2, p. 60-67, Winter 2002.

DUBOIS, A.; GADDE, L.E. The construction industry as a loosely coupled system-implications for productivity and innovativity. In: IMP CONFERENCE, 17., 2001, Oslo. **Proceedings...** Oslo, 2001. 20 p.

EDEN, C.; HUXHAM, C. Action research for management research. **British Journal of Management**, Chichester, Engl., v. 7, p. 75-86, 1996.

EDWARDS, D. K.; EDGELL, R. C.; RICHA, C. E. The key to continuous improvement in just-in-time manufacturing system. **Production and Inventory Management Journal**, Falls Church, VA, v. 34, n. 3, p. 7-13, 1993.

FAITHFULL, P. T.; BALL, R. J.; JONES, R. P. An investigation into the use of hardware-in-the-loop simulation with a scaled physical prototype as an aid to design. **Journal of Engineering Design**, v. 12, n. 3, p. 231-243, 2001.

FLOYD, C. A systematic look at prototyping. In: BUDDE, R. (Ed.); KUHLENKAMP, K. (Ed.); ZULLIGOHOVEN, H. (Ed.). **Approaches to prototyping**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p. 12-20.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente just-in-time.** Caxias do Sul: Ed. Universidade de Caxias do Sul, 1996.

GIDADO, K. I. Project complexity: the focal point of construction production planning. **Construction Management and Economics**, London, v. 14, p. 213-225, 1996.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. F. **A meta**. São Paulo: Ed. IMAM, 1986.

GRIMM, T. **User's guide to rapid prototyping**. Dearborn, Mi.: Society of Manufacturing Engineers, 2004.

GUMMESSON, E. **Qualitative methods in management research**. 2<sup>nd</sup> ed. Thousand Oaks: Sage Publ., 2000.

GUTIERREZ, O. A contingency perspective on effective prototyping. **Journal of Information Technology**, London, v. 8, p. 99-109, 1993.

HOLMBERG, S. C. Design and prototyping towards anticipatory applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF COMPUTING ANTICIPATORY SYSTEMS, 3., 1999, Oslo. **Proceedings...** Oslo, 2000. 11 p.

HOPP, W.; SPEARMAN, M. **Factory physics: foundation of manufacturing management**. Boston: McGraw-Hill, 1996.

HOWELL, G. et al. Leadership and project management: time for a shift from Fayol to Flores. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore. 2004. 8 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 30/07/06

\_\_\_\_\_. Working near the edge: a new approach to construction safety. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. **Proceedings...** Porto Alegre: UFRGS, 2002. p. 49-60. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 05/04/04

HOWELL, G. BALLARD, G. Can project controls do its job? In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 4., 1996, Birmingham. **Proceedings...** Birmingham, 1996. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 02/02/04

\_\_\_\_\_. Design of construction operations. **White paper 04**. Lean Construction Institute, 1999. Disponível em: <<http://www.leanconstruction.org/>>. Acesso em: 10 jun. 2003.

HOWELL, G.; BALLARD, G.; HALL, J. Capacity utilization and wait time: a primer for construction. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., Singapore, 2001. **Proceedings** ... Singapore, 2001. 11 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 02/02/04

HOWELL, G.; BALLARD, H. G. Factors affecting project success in the piping function. In: ALARCÓN, L. (Ed.). **Lean construction**. Rotterdam: Balkema, 1997. p.161-185.

HOWELL, G; LAUFER, A.; BALLARD, H. G. Interaction between subcycles: one key to improved methods. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, v. 11, n. 4, p. 714-728, 1993a.

\_\_\_\_\_. Uncertainty and project objectives. **Project Appraisal**, Surrey, Engl., v. 8, n. 1, p. 37-43, 1993b.

IMAI, M.. **Gemba Kaizen**: a commonsense, low-cost approach to management. New York: McGraw-Hill, 1997.

ISATTO, E. L. **Proposição de um modelo teórico-descritivo para a coordenação inter-organizacional de cadeias de suprimentos em empreendimentos de construção civil**. 2005. 305 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ISATTO, E. L. et al. **Lean construction**: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

JOHNSON, J. Can complexity help us better understand risk? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILT ENVIRONMENT COMPLEXITY, 1., 2005, Liverpool. **Proceedings...** Liverpool, 2005.

JOHNSTON, R .B.; BRENNAN, M. Planning or organizing: the implications of theories of activity for management of operations. **Omega: The Intern. J. Management Science.**, Elmsford, NY, v. 24, n. 4, p. 367-384, 1996.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto**: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. São Paulo: Pioneira, 1992.

KONDO, Y. **Human motivation**: a key factor for management. Tokio: 3A Corp., 1991.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction.** 2000. 298 p. Tese (Doctor of Philosophy) - VTT Technical Research Centre of Finland. Helsinki University of Technology, Espoo, 2000.

\_\_\_\_\_. Application of the new production philosophy to construction. **Technical Report**, v. 72, 1992. 75p.

\_\_\_\_\_. Making-do: the eighth category of waste. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore, 2004. 10 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 04/08/06

\_\_\_\_\_. Management of production in construction: a theoretical view. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley. **Proceedings...** Berkeley, 1999. 12 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 10/01/05

\_\_\_\_\_. On new footnotes to Shingo. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., Singapore, 2001. **Proceedings ...** Singapore, 2001. 12 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 02/04/03

KOSKELA, L.; HOWELL, G. The theory of project management: explanation to novel methods. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. **Proceedings...** Gramado, 2002. 11 p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 12/01/05

KOSKELA, L.; KAGIOGLOU, M. On the metaphysics of production. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., 2005, Sydney, Australia. **Proceedings...** Sydney, 2005. 9 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 14/07/06

KOSKELA, L.; VRIJHOEF, R. The prevalent theory of construction is a hindrance to innovation. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton. **Proceedings...** Brighton, 2000. 11p. Disponível em <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 09/01/06

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. **Léxico Lean**: glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

LINDBECK, J. R. **Product design and manufacture.** Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1994.

LINDERMAN, K. et al. Six Sigma: a goal-theoretic perspective. **Journal of Operations Management**, Amsterdam, v. 21, n. 2, p. 193-203, 2003.

LINDERMAN, K.; SCHROEDER, R. G.; CHOO, A. D. Six Sigma: The role of goals in improvement teams. **Journal of Operations Management**, Vol. xxx, No. x, pp. xxx-xxx, 2005.

LIKER, J. K. **The Toyota way**: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New Yor: McGraw-Hill, 2004.

MA, Z.; SHEN, Q.; ZHANG, J. Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 14, , p. 369–381, 2005.

MACHADO, R. L. **A sistematização de antecipações gerenciais no planejamento da produção de sistemas da construção civil**. 2003. 264 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MACOMBER, H.; HOWELL, G. Two great wastes in organizations. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore, 2004. 9 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 08/02/05

MIRON, L. **Proposta de diretrizes para o gerenciamento dos requisitos do cliente em empreendimentos imobiliários**, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MITROPOULOS, P.; HOWELL, G. Renovation projects: design process problems and improvement mechanisms. **Journal of Management in Engineering**, New York, v. 18, n. 4, p.179-185, Oct. 1991.

MONDEN, Y. **Toyota production system**: an integrated approach to just-in-time. 3<sup>rd</sup> ed. Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press, 1998.

MOSER, L.; SANTOS, A. Análise dos impactos da adoção de célula de manufatura como estratégia de implementação da Lean Production. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto, Brasil. **Anais...** , 2003. 8 p.

OGLESBY, C. H.; PARKER, H. W.; HOWELL, G. A. **Productivity improvement in construction**. New York: McGraw-Hill , 1989.



OHNO, T. **Sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, J. H S. A. **Avaliação das mudanças ocorridas no desenvolvimento de produtos devidas à utilização de modelos produzidos por prototipagem rápida**. 2001. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Projetos e Fabricação) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

OTTO, K.; WOOD, K. **Techniques in reverse engineering and new product development**. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

OWEN, R. et al. Is agile project management applicable to construction? In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 14., 2006, Santiago. **Proceedings...** Santiago, 2006. Disponível em: <http://www.iglc.net/>. Acesso em: 12/08/06

PATTERSON, M. L. **Leading product innovation**: accelerating growth in a product-based business. New York: John Wiley & Sons, 1999.

POLAT, G.; BALLARD, G. Waste in turkish construction: need for lean construction techniques. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore, 2004. 14p. Disponível em: <http://www.iglc.net/>. Acesso em: 06/09/03

PICCHI, F. A. *Lean thinking* (mentalidade enxuta): avaliação sistemática do potencial de aplicação no setor de construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2., 2001, Fortaleza. **Proceedings...** Fortaleza, 2001. Disponível em: <http://www.infohab.org.br>. Acesso em: 13/09/06

PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM. **Standard work for the shopfloor**. New York: Productivity Press, 2002.

REASON, J. **Human error**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

REINERTSEN, D. **Managing the design factory**: a product developer's toolkit. New York: Free Press, 1997.

RODRIGUES, L. H.; MACKNESS, J. R. Teaching the meaning of manufacturing synchronisation using simple simulation models. **International Journal of Operations & Production Management**, Bradford, Engl., v. 18, n. 3, p. 246-259, 1998.

RONEN, B. The complete kit concept. **International Journal of Production Research**, London, v. 30, n. 10, p. 2457-2466, Oct. 1992.

ROSENTHAL, S. R.; TATIKONDA, M. V. Competitive advantage through design tools and practices. In: SUSMAN, G. I. (Ed.). **Integrating design and manufacturing for competitive advantage**. London: Oxford University Press, 1992.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando fluxo contínuo**: um guia de ação para gerentes engenheiros e associados da produção. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

SANTOS, A. **Método de intervenção em obras de edificações enfocando o sistema de movimentação e armazenamento de materiais: um estudo de caso**. 1995. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

SANTOS, A. et al. **Método de intervenção para a redução de perdas na construção civil**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 1996.

SANTOS, A. **Application of production management flow principles in construction cites**, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Department of Quantity and Building Surveying, University of Salford, Salford.

SANTOS, A.; FORMOSO, C. T.; TOOKEY, J. E. Expanding the meaning of standardization within construction process. **The TQM Magazine**, York, Engl., v. 14, n. 1, p. 25-33, 2002.

SANTOS, A.; FRESSATO, A. F. Os benefícios da prototipagem rápida no desenvolvimento de produtos para o setor da construção civil. In: INTER AMERICAN CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECNOLOGIES IN ECOLOGICAL AND SUSTAINABLE CONSTRUCTION, 2005, Rio de Janeiro.

SANTOS, A.; POWELL, J. A. Potential of Poka-Yoke devices to reduce variability in construction. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., 1999, Berkeley. **Proceedings...** Berkeley, 1999. 12 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 12/12/06

SANTOS, A.; POWELL, J.A., SARSHAR, M. Reduction of work in progress in the construction environment. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., Brighton, 2000. **Proceedings...** Brighton, 2000. 11 p. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em:15/06/06

SANTOS, D. G. **Modelo de gestão de processos na construção civil para identificação de atividades facilitadoras.** 2004. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SAURIN, T. A. **Segurança e produção:** um método para o planejamento e controle integrado. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero:** o sistema Shingo para melhoria contínua. Porto Alegre: Bookman, 1996.

\_\_\_\_\_. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SCHRAMM, F.K. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais e interesse social.** 2004. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SMALLEY, A. Estabilidade é a base para o sucesso da produção *lean*. Disponível em: [http://www.lean.org.br/bases.php?interno=comunidade\\_artigos](http://www.lean.org.br/bases.php?interno=comunidade_artigos). Acesso em: 8 jan. 2007.

SÖDERLUNG, J. Building theories of project management: past research, questions for the future. **International Journal of Project Management**, Guildford, Engl., v. 22, p.183–191, 2004.

SPEAR, S.; BOWEN, H. K. Decoding the DNA of the Toyota Production System. **Harvard Business Review**, Boston, v. 77, p. 96-106, Sep/Oct. 1999.

THONKE, S. Enlightened experimentation: the new imperative for innovation. **Harvard Business Review**, Boston, v. 79, n. 2, p. 67-75, Feb. 2001.

TOMMELEIN, I. D.; RILEY, D.; HOWELL, G. A. Parade game: impact of work flow variability on succeeding trade performance. In: CONFERENCE OF THE

INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., 1998, Guarujá. **Proceedings...** Guarujá, 1998. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 03/01/04

TOMMELEIN, I. D.; RILEY, D.; HOWELL, G. A. Parade game: impact of work flow variability on trade performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, v. 5, n. 125, p. 304-310, 1999.

TREVILLE, S; ANTONAKIS, J. Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual, configurational, and levels-of-analysis issues. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 2, p. 99-123, 2005.

TSAO, C. Y., TOMMELEIN, I. Comparing and implementing alternative work structures: installation of doorframes. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., 2002, Gramado. **Proceedings...** Gramado, 2002. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 18/12/03

TSAO, C. C. Y.; TOMMELEIN, I. D; SWANLUND, E.; HOWELL, G. A. Case Study for work structuring: installation of metal door frames. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., 2000, Brighton. **Proceedings...** Brighton, 2000. Disponível em: <<http://www.iglc.net/>>. Acesso em: 18/12/03

TSENG, M. .M.; JIAO, J.; SU, C. Virtual prototyping for customized product development. **Integrated Manufacturing Systems**, Bradford, Engl., v. 9, n. 6, p. 334-343, 1998.

TURNER, R. J. The role of pilot studies in reducing risk on projects and programmes. **International Journal of Project Management**, Guildford, Engl., v. 23, p. 1-6, 2005.

UGWUA, O. O.; ANUMBAB, C. J.; THORPEB, A. Ontological foundations for agent support in constructability assessment of steel structures: a case study. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 14, p. 99-114, 2005.

ULRICH, K.T., EPPINGER, S.D. **Product design and development**. 2<sup>nd</sup> ed. London: McGraw-Hill, 2000.

UMBLE, M.M.; SRIKANTH, M.L. **Synchronous manufacturing**: principles for world-class excellence. Wallingford: The Spectrum Publ. Co., 1995.

VERA, D.; CROSSAN, M. Improvisation and innovative performance in teams. **Organization Science**, Providence, RI, v. 16, n. 3, p. 203-224, 2005.

WILLIAMS, T. M. The need for new paradigms for complex projects. **International Journal of Project Management**, Guildford, Engl., v. 17, n. 5, p. 269-273, 1999.

WILLIAMS, T. M. **Modeling complex**. New York: John Wiley & Sons, 2002.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas**: elimine o desperdício e crie riquezas. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. São Paulo: Bookaman, 2001.

## **ANEXO A**

### ***Planilha para coleta de dados – 1º Estudo***



## **ANEXO B**

***Roteiro para Entrevistas – 2º Estudo***

***Encarregados***



1. Na sua opinião, quais foram as principais contribuições proporcionadas pela construção do protótipo<sup>46</sup>?
2. O que você acha que poderia ter sido diferente para um melhor aproveitamento da construção do protótipo? Destaque os pontos que poderiam ser melhorados para que houvesse maior contribuição proporcionada pela construção do protótipo?
3. Quais as contribuições do protótipo para os seguintes aspectos:
  - (a) Para melhorar ou corrigir erros do projeto
  - (b) Para entender o conteúdo do trabalho envolvido na execução da tarefa, ou seja, para esclarecer que operações eram necessárias para executar o serviço
  - (c) Para identificar um fator que impunha a necessidade de cumprir um determinado procedimento. Por exemplo: por uma questão de segurança ao fazer o café pode ser necessário manter a garrafa térmica tampada enquanto mesma está em processo de escaldo ou ainda, a maior facilidade para executar rasgos na alvenaria pode determinar que esta operação seja executada após a parede estar chapiscada
  - (d) Para definir a sequência de execução ou determinar que operações podem ser executadas simultaneamente
  - (e) Para determinar a duração das operações
  - (f) Para quantificar recursos materiais e equipamentos e, também para definir a composição da equipe
  - (g) Para definir como acessar o local de trabalho (mão de obra e materiais) e trabalhar no espaço disponível
  - (h) Para estabelecer referências para medidas
4. Com relação às condições para construir o protótipo, seria necessário:
  - (a) Que houvesse mais abertura para discutir os problemas observados e para experimentar diferentes alternativas, ainda que houvesse chance de erros
  - (b) Que fossem utilizados dispositivos para comunicar a ocorrência de problemas ao longo da construção de protótipos, visando a agilizar a resolução de problemas.

---

<sup>46</sup> Embora o termo adotado na tese tenha sido o *FRS*, ao longo da realização do mesmo, os encarregados, operários e engenheiros da empresa A adotavam a palavra protótipo para referenciar o *first run*. Assim, na entrevista foi utilizada uma linguagem que facilitasse a comunicação com entrevistados.

## **ANEXO C**

***Roteiro para Entrevistas – 3º Estudo***  
***Engenheiro e Proprietário da Sub-empiteira***

1. Na sua opinião, quais foram as principais contribuições proporcionadas pela construção do protótipo?
2. Quais as contribuições do protótipo para os seguintes aspectos:
  - (a) Para melhorar ou corrigir erros do projeto
  - (b) Para entender o conteúdo do trabalho envolvido na execução da tarefa, ou seja, para esclarecer que operações eram necessárias para executar o serviço
  - (c) Para identificar um fator que impunha a necessidade de cumprir um determinado procedimento. Por exemplo: por uma questão de segurança ao fazer o café pode ser necessário manter a garrafa térmica tampada enquanto mesma está em processo de escaldo ou ainda, a maior facilidade para executar rasgos na alvenaria pode determinar que esta operação seja executada após a parede estar chapiscada
  - (d) Para definir a sequência de execução ou determinar que operações podem ser executadas simultaneamente
  - (e) Para determinar a duração das operações
  - (f) Para quantificar recursos materiais e equipamentos e, também para definir a composição da equipe
  - (g) Para definir como acessar o local de trabalho (mão de obra e materiais) e trabalhar no espaço disponível
  - (h) Para estabelecer referências para medidas

## **ANEXO D**

***Roteiro para Entrevistas – 3º Estudo***

***Encarregados***

1. Na sua opinião, quais foram as principais contribuições proporcionadas pela construção do protótipo?
2. Quais as contribuições do protótipo para os seguintes aspectos:
  - (a) Para definir a sequência de execução ou determinar que operações podem ser executadas simultaneamente
  - (b) Para determinar a duração das operações
  - (c) Para quantificar recursos materiais e equipamentos e, também para definir a composição da equipe
  - (d) Para definir diretrizes e para efetuar a pré-montagem de *kits*
  - (e) Para estabelecer referências para medidas